BIOENGENHARIA OCULAR

os óculos de sol e suas normas

Liliane Ventura
e Mauro Masili

Co-autores

Sidney Julio de Faria e Sousa
Homero Schiabel
Artur Duarte Loureiro
Fernanda Oliveira Duarte
José de Anchieta da Costa A. Toschi
Patrícia Fichtner Milan Rödel

Ano 2022

Bioengenharia ocular: os óculos de sol e suas normas

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Liliane Ventura
Mauro Masili
Sidney Julio de Faria e Sousa
Homero Schiabel
Artur Duarte Loureiro
Fernanda Oliveira Duarte
José de Anchieta da Costa Aguiar Toschi
Patrícia Fichtner Milan Rödel

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B615 Bioengenharia ocular: os óculos de sol e suas normas / Liliane Ventura, Mauro Masili, Sidney Julio de Faria e Sousa, et al. - Ponta Grossa - PR, 2022.

Outros autores
Homero Schiabel
Artur Duarte Loureiro
Fernanda Oliveira Duarte
José de Anchieta da Costa Aguiar Toschi
Patrícia Fichtner Milan Rödel

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-981-0
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.810220102

1. Olhos. 2. Biologia. 3. Óculos de sol. 4. Profissionais de óticas. I. Ventura, Liliane. II. Masili, Mauro. III. Sousa, Sidney Julio de Faria e. IV. Título.

CDD 611.84

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A Luis Alberto Perez Alves (*in memorian*), óptico que sempre esteve à frente da saúde ocular e que nos encorajou a manter esse legado, mesmo enfrentando enormes adversidades, que acabaram por nos privar prematuramente de sua energia impulsionadora.

PREFÁCIO

Este livro é um passeio por vários tópicos, que envolvem desde a biologia do olho humano, a Física das radiações envolvidas nas normas de óculos de sol, até a visão dos produtores de óculos de sol e dos profissionais de óticas que trabalham com os filtros de proteção. Ainda mostra algumas das pesquisas desenvolvidas na Universidade de São Paulo (USP), campus de São Carlos, no Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO), que é coordenado por mim e conta com o apoio financeiro da FAPESP. Diria que é um retorno à sociedade para transferência de um pouco de todo conhecimento adquirido e que nos foi investido ao longo dos últimos 25 anos.

É evidente a importância do conhecimento das normas de óculos de sol no Brasil e sobre as dificuldades de certificação dos óculos em nosso País; afinal, trata-se de proteção da saúde ocular. Quanto à questão das dificuldades, a complexidade é maior, pois vai além do custo relativamente alto para se certificar, passando pela falta de laboratórios nacionais para a certificação destes óculos. Tal carência de laboratórios também está intimamente ligada ao alto custo dos equipamentos necessários ao processo de certificação, que ultrapassa US$ 300 mil. Não só esse custo é alto, mas, em adendo, a cada 3 anos as normas são reavaliadas e os equipamentos adquiridos podem tornar-se obsoletos em função de novos requisitos impostos – e muitas vezes, questionáveis, como se poderá observar através das críticas apresentadas em algumas das pesquisas científicas expostas neste livro.

A maioria dos autores deste livro são ligados a comitês de estudo e deliberações de normas para óculos de sol. Assim, vale a pena narrar aqui uma das várias histórias desse meio que pode ser considerada uma espécie de motivação para a compilação e produção do material contemplado nos capítulos desse livro.

Em 1996, eu e Prof. Sidney J Faria e Sousa realizamos no Laboratório de Fisica Oftálmica - FMRP-USP, a pedido do INMETRO as primeiras medições de proteção ultravioleta em óculos de sol no país. Naquela época, não havia norma brasileira para óculos de sol e os ensaios foram realizados baseados nas normas Norte-americana e Europeia, uma vez que a procedência de vários óculos encaminhados para os testes era de países dessas regiões. A primeira norma brasileira para proteção ultravioleta em óculos de sol, NBR15111, foi redigida e publicada posteriormente, em 2003. De 2010 a 2013, em contribuição à revisão e redação desta norma, a Escola de Engenharia de São Carlos da USP participou, através de mim e outros membros do laboratório que coordeno, do CB49, da ABNT, comitê principal para alterações desta norma. Entre os autores de capítulos deste livro, participavam ativamente das discussões e trabalhos do comitê eu, o empresário do ramo de óculos de sol, Engenheiro José de Anchieta Toschi, o Prof. Mauro Masili e o Prof,

Homero Schiabel.

Esta norma brasileira (a NBR15111) era até então uma cópia fiel (ou "espelho") da norma Europeia BSEN1836, com uma única, porém, importante diferença, resultado de uma árdua batalha travada no então comitê CB49 da ABNT, e que se referia à extensão do intervalo de análise da proteção ultravioleta em óculos de sol – que era de 280 a 380nm, passando para 280 a **400**nm.

O motivo para esta extensão de 20 nm no intervalo do ultravioleta A era muito importante para a proteção ocular do brasileiro, uma vez que a irradiância do sol que chega até o Brasil é bastante maior do que a que chega na Europa, de onde a norma brasileira estava sendo espelhada. Além disso, o teste de resistência à irradiação solar passou de 25 h para 50 h de exposição, também para maior segurança da saúde ocular.

A alteração desses requisitos foi baseada em resultados de estudo realizado no LIO-EESC-USP, apoiado pela FAPESP e também da interação com profissionais, que participam dos comitês de norte-americanos de normas, tais como Herbert Hoover, Stephen Dain e David Sliney, que também são membros dos comitês internacionais de normas para óculos de sol.

Ao mesmo tempo em que se eram estudadas cientificamente as normas para possibilitar uma proteção mais realista da saúde ocular do brasileiro em função das características mais peculiares do país em termos de irradiância solar, eram criados na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, no campus de São Carlos, equipamentos inéditos para possibilitar que o público em geral pudesse auto-testar a proteção de seus óculos de sol. Esses estudos tiveram repercussão internacional, a ponto de a rede de notícias BBC News produzir uma primeira reportagem (que foi ao ar pela primeira vez em junho/2014), e uma segunda, complementar, sobre o trabalho, e que pode ser acessada através do link: http://www.bbc.com/news/health-28452943.

Ao mesmo tempo em que estudos na USP já demonstravam que a necessidade de se atentar às normas para óculos de sol e questionar seus requisitos, em 2015, porém, a NBR15111:2013 foi revogada. Um dos fatores que contribuíram para essa ação foi a inexistência de laboratórios de certificação no Brasil, tornando inviável a certificação do produto de acordo com a nova norma, uma vez que os laboratórios Europeus e Americanos apenas certificavam seus óculos até 380 nm.

Os estudos com críticas sobre as normas para óculos de sol tanto brasileira, como as estrangeiras, tinham como base essa revogação da norma brasileira NBR15111:2013, que havia sido produto de um grande trabalho com nossa participação direta com vistas a traduzir uma espécie de nacionalização para atender o que cientificamente é comprovado em termos da necessidade de proteção ocular da população do Brasil, mas que então voltava a ser "espelho" da ISO 12312-1:2013, ou seja, considerando retornar novamente

o intervalo de proteção para 280–380nm. Tais críticas acabaram sendo estendidas para a referida ISO, que é mundialmente “espelhada” – exceto na Austrália e no Canadá, que estabelecem os 400nm como limite superior para proteção.

Como efeito dessas análises publicadas em revistas internacionais, fui convidada para proferir uma palestra no NIST- *National Insitute of Standards and Technology* (EUA) a fim de explicar de fato as críticas que vínhamos fazendo sobre as normas existentes nesses textos, e que inclusive repercutiram na imprensa internacional (*BBC News, Times Magazine*). Um de nossos artigos (Prof. Mauro Masili e Profa. Liliane Ventura) sobre os óculos de sol e as normas foi considerado como um dos mais influentes da revista *Biomedical Engineering OnLine*, no ano de 2016.

Por isso, espero que este livro, escrito em colaboração por profissionais das mais diversas áreas, mas que têm em comum o conhecimento das normas para óculos de sol, seja valioso para as pessoas que queiram se aventurar nesta área.

Liliane Ventura

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

O OLHO HUMANO SIMPLIFICADO

Liliane Ventura

INTRODUÇÃO

Quando falamos em óculos de sol, logo falamos sobre o olho humano.

Para que possamos desenvolver normas, equipamentos de teste tanto para os óculos de sol, como equipamentos de Oftalmologia em geral, é importante que cientistas das áreas de Exatas e Biológicas tenham um vocabulário em comum.

Assim, apresentamos aqui o olho humano do ponto de vista da área de Física e Engenharia, para que possamos entender, de um modo interdisciplinar, como este órgão é composto.

O olho humano pode ser dividido em seis funções físicas fundamentais [1-4]: a refração, cujos elementos responsáveis são a córnea, o cristalino e os humores aquoso e vítreo; a auto focalização, feita pelo cristalino e pelos músculos ciliares; o controle da luminosidade interna feito pela íris e pupila; a detecção, feita pela retina (pelos cones e bastonetes); a transmissão da informação ao cérebro, feita pelo nervo e as vias ópticas; e a *refrigeração* da retina feita pela coroide.

Os elementos essenciais do olho, considerado como um sistema ótico, são mostrados na figura 1.

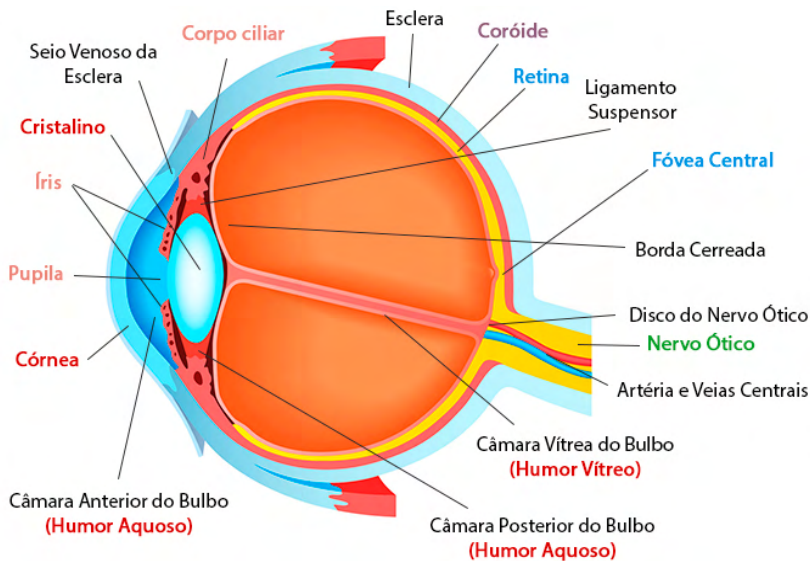



Figura 1: Representação esquemática do olho humano.

O globo ocular tem forma aproximadamente esférica e diâmetro em torno de 25 mm. É constituído por uma membrana dura (cerca de 5/6 do globo ocular) e branca, denominada esclerótica. A parte frontal é mais curvada e coberta por uma membrana dura e transparente (cerca de 1/6 do globo ocular), chamada córnea, com poder de refração [(3,4)] médio de 43,2 di. A região atrás da córnea contém um líquido denominado humor aquoso. A seguir, encontra-se a lente cristalina, ou simplesmente o cristalino, que consiste numa cápsula contendo uma gelatina fibrosa, rija na região central e menos consistente nas margens. O índice de refração do cristalino varia de modo crescente do centro para as bordas (índice de refração médio de 1,437), no intuito de corrigir aberrações esféricas. O cristalino é preso por ligamentos ao músculo ciliar. Atrás do cristalino, o olho é preenchido por uma substância gelatinosa transparente chamada humor vítreo. Os índices de refração, tanto do humor vítreo como do humor aquoso, são aproximadamente iguais ao da água, cerca de 4/3. Como não há grande diferença entre os três índices citados, a luz que penetra no olho se refrata principalmente na córnea. O sistema ótico ocular possui um poder de refração[1] variável [(3,4)] entre 58,64 di a 70,57 di.

A coroide é uma camada rica em vasos sanguíneos que reveste a parte interna da esclerótica. Funciona como uma espécie de "sistema de refrigeração" para a retina, através da dissipação de energia pelo fluxo sanguíneo.

Grande parte do olho é coberta por uma delicada membrana, denominada retina, que é constituída por fibras nervosas. Tais fibras que se reúnem no nervo ótico começam

1 Poder de refração da lente: é o quanto uma lente refrata um feixe de luz paralelo nela incidente, que por sua vez é proporcional ao inverso da distância focal de lente, multiplicada pelo índice de refração da lente.

próximas a minúsculas estruturas chamadas bastonetes e cones. Ambos recebem a imagem ótica e a transmitem ao cérebro, por impulsos semelhantes aos elétricos.

Existe uma ligeira depressão na retina chamada mancha amarela ou mácula lútea. Em seu centro existe uma diminuta região, com cerca de 0,25 mm de diâmetro, denominada *fovea centralis*, que contém exclusivamente cones. A visão na fóvea é muito mais nítida do que em outras regiões da retina; os músculos que controlam o olho giram sempre o globo ocular até que a imagem do objeto para o qual a atenção está voltada caia na fóvea. A região marginal da retina serve apenas para dar um aspecto geral do campo de visão. A fóvea é tão pequena que há necessidade de se movimentar o olho para focalizar distintamente dois pontos tão próximos como os do sinal de pontuação denominado "dois pontos" (:).

Na região em que o nervo ótico penetra no globo ocular não existem bastonetes e nem cones, e as imagens aí formadas não podem ser vistas. Essa região é denominada ponto cego.

Em frente ao cristalino acha-se a íris, no centro da qual existe uma abertura denominada pupila. A função da pupila é regular a quantidade de luz que entra no olho, dilatando-se automaticamente se o brilho do campo for fraco e contraindo-se quando o brilho aumenta. Entretanto, o diâmetro pupilar sofre uma variação de apenas quatro vezes (corresponde a uma variação em área de 16 vezes), enquanto a variação correspondente ao brilho é superior a 100 mil vezes. O mecanismo receptor da retina adapta-se, ele próprio, às grandes diferenças de quantidade de luz.

Para que um objeto seja enxergado distintamente, sua imagem, formada na retina, deve ser nítida. Se todos os elementos do olho fossem rigidamente fixos em suas posições, apenas os objetos situados a uma certa distância formariam imagens nítidas na retina. Entretanto, o olho normal pode focalizar nitidamente objetos situados a qualquer distância, desde o infinito até cerca de 15 cm à sua frente. Isso se torna possível pela ação do cristalino e do músculo ciliar ao qual ele é ligado. Quando em repouso, o olho normal é focalizado no infinito, isto é, o segundo foco está sobre a retina. Quando se deseja ver um objeto mais próximo, o músculo ciliar contrai-se e o cristalino toma uma forma quase esférica. Esse processo é denominado acomodação visual.

A maior e a menor distâncias para as quais é possível a visão distinta são chamadas ponto remoto e ponto próximo do olho, respectivamente. O ponto remoto de um olho normal fica situado no infinito. A posição do ponto próximo depende, evidentemente, de quanto pode ser aumentada a curvatura do cristalino, mediante a acomodação. A variação da acomodação diminui gradualmente com a idade, à medida que o cristalino perde sua flexibilidade. Por esse motivo, o ponto próximo afasta-se gradualmente, à medida que se envelhece. Esse afastamento do ponto próximo com a idade é chamado presbitismo ou presbiopia, não devendo, entretanto, ser considerado um defeito de visão, já que se

processa mais ou menos da mesma forma em todos os olhos normais.

REFERÊNCIAS

1. Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell je, editors. Histology of the human eye. 1st ed. v. 1. Philadelfia: Saunders, 1971.

2. Duke-elder, editor. System of ophthalmology – The physiology of the eye and of vision. 1st ed. v. IV. Londres: Kimpton, 1968.

3. Duke-elder S, editor. System of Ophthalmology. – Ophthalmic Optics and Refraction 1st ed. v. V. Londres: Kimpton, 1970.

4. Duane TD, editor. Clinical ophthalmology. 2nd ed. v. 2. Hagerstown: Harper, 1978.

CAPÍTULO 2

AS RADIAÇÕES SOLARES E O OLHO HUMANO

Sidney Julio de Faria e Sousa

A luz que penetra em nossos olhos é focalizada nas retinas. Estas transformam as imagens em impulsos elétricos que *são encaminhados pelas* vias ópticas ao córtex occipital onde são integrados em uma impressão visual única. Essa luz é apenas uma fração da radiação solar que se distingue pela propriedade de apresentar-se tanto como onda eletromagnética, quanto como um fluxo de partículas energizadas. O primeiro atributo é mais favorável ao estudo do transporte de energia enquanto o segundo aplica-se melhor às análises da interação da luz com a matéria.

Didaticamente, a radiação solar é separada em bandas de energia associadas a atributos que nos são familiares como o raio-X (radiografia), radiação ultravioleta (bronzeamento), luz (visão), radiação infravermelha (calor), ondas de rádio, TV e telefonia (comunicação). Quanto mais energéticas as bandas, menores os comprimentos das ondas que as compõem (Figura1).

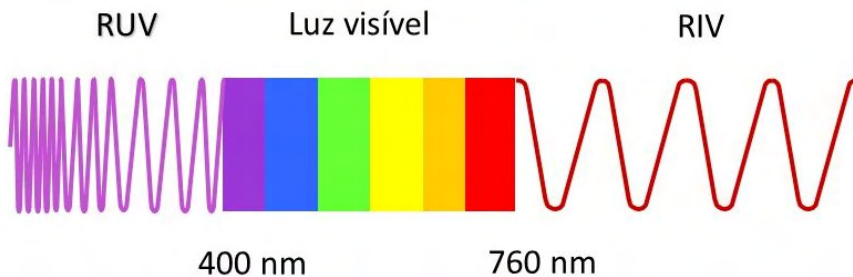



Figura 1. Espectro da luz visível. RUV: radiação ultravioleta; RIV: radiação infravermelha.

As radiações eletromagnéticas são nomeadas pela frequência de emissão, ou seja, pelo número de ciclos por segundo. Daí o nome radiação ultravioleta (RUV) que denota frequências imediatamente superiores à da luz violeta e radiação infravermelha (RIV) que exprime frequências imediatamente inferiores à da vermelha. O problema é que ao trabalharmos com ondas de grande frequência, deparamo-nos com números exóticos, difíceis de memorizar. Nessa situação, é mais fácil recorrermos aos comprimentos de ondas que geram números mais amigáveis, expressos em nanômetros (nm). Quando os comprimentos de onda se tornam grandes, passa a ser mais fácil trabalharmos com as

frequências, em ciclos por segundo. A relação entre a frequência e o comprimento de onda que permite essa troca é expressa pela equação (1):

$$comprimento\ de\ onda = \frac{velocidade\ da\ luz}{frequência} \quad (1)$$

As radiações solares que mais interagem com os nossos biomas são as ultravioletas (100 a 400 nm), visíveis (400-760 nm) e infravermelhas (760-10.000 nm). As primeiras e terceiras não são detectadas pelo olho humano em condições normais.

CLASSIFICAÇÃO DAS RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS

A RUV foi dividida em três subgrupos no Segundo Congresso Internacional da Luz, em Copenhague, no ano de 1932 [1], conforme o apresentado na Tabela 1.

Radiação Ultravioleta	Abrev.	Comprimento. de onda (nm)	Características
C	RUV-C	100 - 280	Intensa bioatividade. Absorção completa pela atmosfera, inexistindo naturalmente no meio ambiente. Emitida pela solda elétrica [2], lâmpadas germicidas [3] e excimer lasers.[4]
B	RUV-B	280 - 315	Forte bioatividade. Indutora de Vitamina D_3 no tecido adiposo.[5] Responsável pelo bronzeamento da pele.[6] Gerada por altas temperaturas [7], lâmpadas de bronzeamento e de tratamento da psoríase [8] e vitiligo.[9] Corresponde a 1/7 da RUV ambiente.
A	RUV-A	315 - 400	Baixa bioatividade. Absorção atmosférica insignificante. Corresponde a 6/7 da RUV ambiente

Tabela 1. Classificação das radiações ultravioletas.

NÍVEIS DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO MEIO AMBIENTE

Antes da atenuação pela atmosfera, a radiação solar é composta de 52,8% de RIV, 38,9% de luz visível, 6,3% de RUV-A, 1,5% de RUV-B e 0,5% de RUV-C. [10] A camada de ozônio absorvendo preferencialmente os comprimentos de onda menores, elimina todo o UV-C antes de ele alcançar a superfície da terra.[10] Levando-se em conta que a estratosfera tem cerca de 50 km e que a cada quilômetro de altitude, o nível de RUV-B diminui em 10%, estima-se que esta radiação chegue à superfície da Terra com apenas 59% do valor acima descrito, ou seja, 0,9%. Como a RUV-A não é significativamente afetada pela atmosfera,

ela praticamente nos alcança na sua totalidade.

Os níveis da RUV no meio ambiente são influenciados pelos seguintes fatores [11]:

Ozônio — a camada de ozônio, no limite superior da estratosfera, absorve parte da RUV que, de outra forma, atingiria a superfície da Terra em sua totalidade. Os níveis de ozônio variam ao longo do ano e do dia.

Altitude — com o aumento da altitude há menor filtragem da RUV devido a rarefação da atmosfera. Estima-se um aumento de 10% da RUV-B a cada 1km de altitude.

Latitude — quanto mais próximo do equador, maiores os níveis de RUV.

Elevação do sol — quanto mais alto o sol, maior a quantidade de RUV. Por isso, ela varia com a hora do dia e época do ano. Fora dos trópicos, os níveis mais elevados ocorrem quando o sol está a pino nos meses de verão.

Cobertura de nuvens — os níveis da RUV são mais baixos no céu com nuvens.

Reflexão no solo — a RUV é refletida ou espalhada em várias intensidades por diferentes superfícies. A neve fresca pode refletir até 80% da radiação, a areia seca da praia cerca de 15% e a espuma do mar cerca de 25%.

PENETRAÇÃO DAS RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS NOS OLHOS

Os meios transparentes do olho que mais absorvem a RUV são a córnea e o cristalino. A córnea filtra todo RUV < 300 nm. O cristalino absorve todo RUV < 390 nm [12, 13]. Isto significa que em condições habituais de exposição ao sol a retina está muito bem protegida dessa radiação. A Tabela 2 apresenta as transmitâncias totais da córnea e cristalino, retiradas das curvas de Boettner e Wolter [12]. Relativamente a luz visível, cerca de 80% dela chega à retina.

RUV	Compr. de onda nm	Transmitância total (%)	
		córnea	Cristalino
B	>300	0	0
B	315	40	0
A	320	60	0
A	380	80	0
A	390	80	10
A	400	80	15

Tabela 2. Transmitância da radiação ultravioleta pela córnea e cristalino [12].

No espectro da RIV a transmitância cai rapidamente de 70% para 35% no intervalo entre 700 e 1000 nm e ainda mais acentuadamente até os 1400 nm. O humor aquoso e o corpo vítreo têm significante participação nessa curva de absorção. [12] Além da filtragem natural dos meios transparentes, o olho defende-se eficazmente dessas radiações por meio da coroide (Figura 2). Ela é um tecido riquíssimo em vasos sanguíneos que forra a retina, estando separada dela apenas por uma fina camada de epitélio pigmentar (EPR), assim chamado por apresentar abundante quantidade de pigmentos negros de melanina. O calor absorvido (RIV) pelas células fotorreceptoras (cones e bastonetes) é captado pelos pigmentos negros do EPR e transmitido à coroide, que funciona como um dissipador de energia (radiador) graças à abundante quantidade de sangue circulante em seus vasos. O mecanismo é tão eficiente que a radiação solar que penetra no olho não é capaz de elevar temperatura retiniana o suficiente para causar a sua queimadura com uma pupila de 3 mm ou menos de diâmetro.[14, 15] Por mecanismo semelhante, outros pigmentos como zeaxantina, luteína e meso-zeaxantina conferem proteção extra à região macular. Pelo fato de terem um pico de absorção em 460 nm eles absorvem cerca de 40% da luz azul, cuja energia é ainda relativamente alta. [16] Acresça-se a toda essa proteção a "reação reflexa ao ofuscamento à luz" manifesta pela contração dos músculos orbiculares (com a consequente depressão das sobrancelhas e elevação dos malares), diminuição da fenda palpebral e constrição pupilar, que contribui significativamente para a diminuição da exposição ocular a todas as radiações solares.

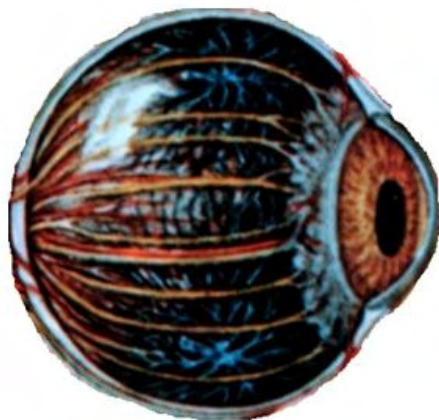



Figura 2. Coroide. Ela forra a retina, que não está visível na figura.

TOXICIDADE OCULAR DAS RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS

O dano das radiações eletromagnéticas aos tecidos biológicos pode ser de três tipos: fototérmico, fotomecânico e fotoquímico. O primeiro é o resultado de uma elevação

exagerada da temperatura no plano celular e molecular causando a desnaturação das proteínas, perda da estrutura molecular terciária e fluidificação das membranas. Corresponde à "queimadura" da linguagem popular. [17-19] O segundo relaciona-se ao dano mecânico (microcavitação) resultante da súbita compressão ou estiramento dos tecidos gerado pela aplicação de altíssima quantidade de energia em uma pequena área, em picosegundos. O exemplo típico é o do Nd:Yag laser. No terceiro, a energia absorvida pelo tecido resulta na quebra de ligações químicas das moléculas e na liberação de radicais livres que, uma vez gerados, atacam outras moléculas numa reação em cadeia. [20] É este o tipo de dano esperado para a RUV. Ele aumenta com a energia associada à onda (menor comprimento de onda) e o tempo de exposição.[21]

Um dos mais importantes sítios da toxicidade da radiação ultravioleta é o DNA celular. [22] Embora a RUV-B constitua menos de 1% da energia solar total, ela é capaz de quebrar uma ou ambas as hélices do DNA ou gerar radicais livres e substâncias oxidantes que o agridem indiretamente. A UV-A é menos tóxica porque não é absorvida pelo DNA nativo. Em situações especiais, no entanto, pode vir a provocar danos fotoquímicos, pela indução de radicais livres, do mesmo modo que a luz visível.

Com base nessas propriedades, uma série de condições oculares têm sido associadas a exposição a RUV, baseada em dados epidemiológicos (Tabela 3). Nessa tabela incluímos apenas as morbidades cuja associação com a RUV é bem respaldada pela literatura.

Morbidade	Local	RUV
Ceratoconjuntivite do soldador [23, 24]	conjuntiva e córnea	B e C
Ceratoconjuntivite da neve [23, 24]	conjuntiva e córnea	B
Carcinoma das células escamosas [25]	pálpebra	B
Carcinoma das células escamosas [26]	conjuntiva e córnea	B
Degeneração esferoidal [27, 28]	córnea	A e B
Pterígio [28]	conjuntiva e córnea	A e B
Catarata cortical [29]	cristalino	B

Tabela 3. Morbidades possivelmente influenciadas pela radiação ultravioleta.

Das morbidades da Tabela 3, apenas a ceratoconjuntivite do soldador e a da neve devem-se a exposição aguda à RUV. Pessoas que acidentalmente olham para a luz de um instrumento de solda elétrica recebem grande quantidade da UV-C e UV-B. Esquiadores na neve sujeitam-se a quantidades elevadas de RUV-B, refletida pelo meio. Esses comprimentos de onda intoxicam o epitélio corneano, que é rico em DNA devido a

sua alta taxa de proliferação. A partir de um certo limite de exposição o epitélio morre e descama, deixando extensa área de córnea descoberta, acompanhada de forte dor e baixa visão (Figura 3 A). Felizmente o fenômeno desaparece espontaneamente em 8 a 12 horas. Todas as outras enfermidades da lista exigem exposição crônica, predisposição genética, hábitos e ambientes favoráveis para serem significativamente influenciadas pelas RUV.

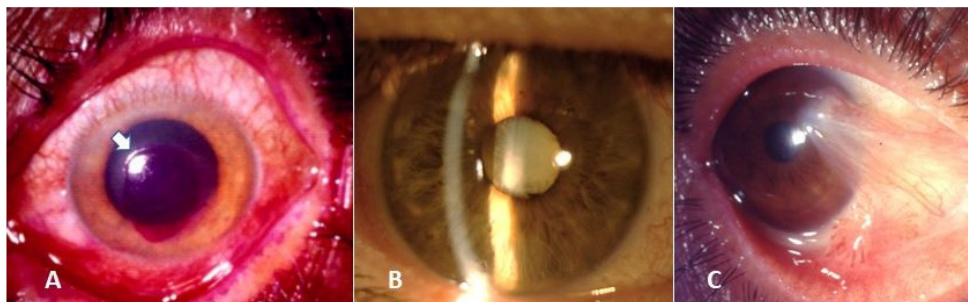



Figura 3. A: Ceratoconjuntivite do soldador. A seta branca aponta para uma área de desepitelização corneana corada em vermelho pelo Rosa Bengala; B: Catarata; C: Pterígio.

Devido à baixa bioatividade, os danos da RUV-A devem restringir-se, em tese, a condições especiais de vulnerabilidade, caracterizadas pelo excesso de exposição, insuficiência de proteção ou reparo do tecido irradiado. Essas condições estão relacionadas na Tabela 4.

Evento	Fator predisponente
Exposição aguda excessiva	Trabalho com solda elétrica, atividades na neve, observação direta do sol
Exposição crônica	Bombeiros de praia, instrutores de esqui, trabalhadores agrícolas, pescadores.
Uso de agentes fotossensibilizantes	Psoralens, fenotiazidas, tetraciclinas, sulfonamidas. [30]
Condições genéticas	Albinismo [31], Retinose pigmentar.[32]
Condições artificiais	Afacia (ausência do cristalino)

Tabela 4. Eventos passíveis de aumentar a vulnerabilidade ocular a RUV.

FILTROS OCULARES ARTIFICIAIS DAS RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS

A proteção ocular das RUV se dá pela aplicação de substâncias absorventes à superfície ou a intimidade do material óptico das lentes de sol ou incolores [33]. Entretanto, materiais como o policarbonato, que filtram naturalmente a RUV, e lentes fotocromáticas, que consomem essa radiação no processo de escurecimento, não precisam do procedimento.

Um conceito básico é que as lentes de proteção da RUV são planejadas para as condições habituais de uso. Não se espera que o usuário olhe fixamente para o sol por mais de 60 segundos, independentemente de o dia ser ensolarado, nublado ou com eclipse solar[34]. Isso excede a capacidade de absorção da lente. Para essas situações são necessários auxílios ópticos apropriados com maior capacidade de absorção não só da RUV como da RIV, uma vez que existe a suspeita que a segunda exacerbe a bioatividade da primeira pelo aquecimento [14].

Os óculos de sol devem filtrar os comprimentos de onda entre 280 e 400 nm para resguardar a superfície ocular e o cristalino. As lentes com absorção até 380 nm deixam passar 40% do UV-A ambiente [35]. Como a proteção da RUV é geralmente adicionada as lentes de sol escuras – que inibem o reflexo de aversão a luz – é lícito indagarmos se esses filtros incompletos seriam menos protetores do que o não uso dos óculos de sol.

Nas condições de aumento da vulnerabilidade à toxicidade (Tabela 4), há forte motivação para estender-se a proteção até os 500 nm. A ideia é eliminar a radiação azul pelo menos enquanto houver a suspeita de que ela possa ser tão danosa à retina humana quanto o observado em ratos de laboratório [36].

Em resumo, embora a RUV tenha potencial tóxico para o olho humano, o risco e a intensidade de dano ainda está para ser satisfatoriamente determinado para as condições habituais de vida na superfície da Terra. É preciso muito cuidado com as inferências de laboratório, uma vez que o limiar de lesão fótica é muito variável entre as espécies, sendo aparentemente mais alto nos humanos [37, 38].

REFERÊNCIAS

1.Diffey B L. Sources and measurement of ultraviolet radiation. Methods. 2002;28(1);4-13. https://doi.org/10.1016/s1046-2023(02)00204-9.

2. Global Solar UV Index: A Practical Guide. WHO/SED/OEH02.2. Geneva: World Health Organization Publications, 2002. ISBN:92-4-159007-6

3.Takahashi J, Nakashima H, Fujii N, Okuno T. Comprehensive analysis of hazard of ultraviolet radiation emitted during arc welding of cast iron. J Occup Health. 2020; 62(1): e12091. https://doi.org/:10.102/1348-9585.12091

4. Soo-Ji Kim, Do-Kyun Kim, Dong-Hyun Kang. Using UVC Light-Emitting Diodes at Wavelengths of 266 to 279 Nanometers to inactivate foodborne pathogens and pasteurize sliced cheese. Appl Environ Microbiol. 2016;82(1):11-17. https://doi.org/10.1128/AEM.02092-15

5. Fantes FE, Waring 3rd GO. Effect of excimer laser radiant exposure on uniformity of ablated corneal surface. Lasers Surg Med.1989;9(6):533-42. https://doi.org/ 10.1002/lsm.1900090603

6. Wacker M, Holick MF. Sunlight and Vitamin D: A global perspective for health. Dermatoendocrinol. 2013; 5(1):51–108. https//dx.doi.org/10.4161/derm.24494

7.Tadokoro T, Yamaguchi Y, Batzer J, Coelho SG, Zmudzka BZ, Miller SA, Wolber R, Beer JZ, Hearing VJ. Mechanisms of skin tanning in different racial/ethnic groups in response to ultraviolet radiation. J Invest Dermatol. 2005; 124(6):1326-1332. https://doi.org/10.1111/j.0022-202X.2005.23760.x.

8. Oriowo M, Chou BR, Cullen AP. Eye exposure to optical radiation in the glassblowing industry: an investigation on South Ontario. Can Public Health. 2009;91(16):471-474.https://doi.org/10.1007/BF03404832

9. Toledo-Pastrana T, Garcia-Hernández MJ Carrizosa-Esquivel AM, Camacho-Martínez FM. Evaluation of 25 years of phototherapy for treating psoriasis at a teaching hospital in southern Spain. An Bras Dermatol. 2015;90(4);473 – 478. https://dx.doi.org/10.1590/abd1806-4841.20153694

10.Hamzavi IH, Lim HW, Syed ZU. Ultraviolet-based therapy for vitiligo: what's new? Indian J Dermatol Venereol Leprol. 2012;78(1):42-48. https://doi.org/10.4103/0378-6323.90945.

11. Frederick JE, Snell HE, Haywood EK. Solar ultraviolet radiation at the earth´s surface. Photochemistry and Photobiology. 1989;50(4):443:450. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1989.tb05548.x

12. Boettner E A, Wolter Jr. Transmission of ocular media. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1962; 1(6):776-783

13. Artigas JM, Felipe A, Navea A, Fandiño A, Artigas C. Spectral Transmission of the Human Crystalline Lens in Adult and Elderly Persons: Color and Total Transmission of Visible Light. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2012; 53(7):4076-4084.https://doi.org/10.1167/iovs.12-9471

14. Hope-Ross MW, Mahon GJ, Gardiner TA, Archer DB. Ultrastructural findings in solar retinopathy. Eye. 1993;7(1):29-33. https://doi.org/10.1038/eye.1993.7

15. White TJ, Mainster MA, Wilson PW, Tips JH. Chorioretinal temperature increases from solar observation. Bull Math Biophys.1971:33(1):1-17. https://doi.org/101007/BF02476660

16. Loane E, Kelliher C, Beatty S, Nolan JM. The rationale and evidence base for a protective role of macular pigment in age-related maculopathy. Br J Ophthalmol. 2008; 92(9):1163–1168. https://doi.org/10.1136/bjo.2007.135566

17. Birngruber R, Gabel VP, Hillenkamp F. Experimental studies of laser thermal retinal injury. Health Phys. 1983;44(5): 519–531. https://doi.org/10.1097/00004032-198305000-00006

18. Birngruber R, Hillenkamp F, Gabel VP. Theoretical investigations of laser thermal retinal injury.

Health Phys. 1985; 48(6): 781–796. https://doi.org/10.1097/00004032-198506000-00006

19. Henriques Jr FC. Studies of thermal injury; the predictability and the significance of thermally induced rate process leading to irreversible thermal injury. Arch Pathol.1947;43(5): 489–502.

20. Foote CS: Mechanisms of photosensitized oxidation. There are several different types of photosensitized oxidation which may be important in biological systems. Science. 1968;162(3857):963-970. https:/doi.org/10.1126/science.162.3857.963

21. Jacques SL. Laser-tissue interactions. Photochemical, photothermal, and photomechanical. Surg Clin North Am. 1992; 72(3): 531–558. https://doi.org/10.1016/s0039-6109(16)45731-2

22. Sinha RP and Hader DP. “UV-induced DNA damage and repair: a review,” *Photochem and Photobiol Sci*. 2002;1(4):225-236. https://doi.org/ 10.1039/b201230h

23. Podskochy A, Gan L, Fagerholm P. Apoptosis in UV-exposed rabbit corneas. Cornea. 2000;19(1):99–103. https://doi.org/10.1097/00003226-200001000-00019

24. Oliva MS, Taylor H. Ultraviolet radiation and the eye. Int Ophthalmol Clin.2005; 45(1):1–17

25. Gallagher RP, Hill GB, Bajdik CD, Coldman AJ, Fincham S, McLean DI et al Sunlight exposure, pigmentation factors, and risk of nonmelanocytic skin cancer. II. Squamous cell carcinoma. Arch Dermatol. 1995;131(2):164–169

26. Sun EC, Fears TR, Goedert JJ. Epidemiology of squamous cell conjunctival cancer. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 1997; 6(2):73–77.

27. Johnson GJ. Aetiology of spheroidal degeneration of the cornea in Labrador. Br J Ophthalmol.1981; 65(4):270–283. https://doi.org/10.1136/bjo.65.4.270.

28. Taylor HR, West SK, Rosenthal FS, Munoz B, Newland HS, Emmett EA. Corneal changes associated with chronic UV irradiation. Arch Ophthalmol.1989; 107(10):1481–1484. https://doi.org/10.1001/archopht.1989.01070020555039

29. McCarty CA, Nanjan MB, Taylor HR (2000) Attributable risk estimates for cataract to prioritize medical and public health action. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2000;41(12):3720–3725.

30. Harber LC, Baer R L. Pathogenic mechanisms of drug-induced photosensitivity. J Invest Dermatol.1972;56(6):327-342. https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12540517.

31. Rapp LM, Williams TP. The role of ocular pigmentation in protecting against retinal light damage. Vision Res. 1980; 20:1127–1131. https://doi.org/10.1016/0042-6989(80)90050-4

32.Heckenlively JR., Rodriguez JA, Daiger SP.Autosomal dominant sectoral retinitis-pigmentosa-2 families with transversion mutation in codon 23 of rhodopsin. Arch. Ophthalmol.1991;109(1):84-91. https://doi.org/10.1001/archopht.1991.01080010086038.

33. Rifai K, Hornauwer M, Buechinger R, Schoen R et al. Efficacy of UV protection by clear lenses. Biomed Opt Express. 2018; 9(4):1948-1963 https://doi.org/10.1364/BOE.9.001948

34. Sliney DH. Photoprotection of the eye-UV radiation and sunglasses. *J* Photochem Photobiol ***B.*** 2001; 64(2-3):166-175. https://doi.org/10.1016/s1011-1344(01)00229-9

35. Lappe C. Zeiss UV Protect: Protection against harmful UV radiation, even with clear eyeglass lenses. Retrieved in April 23, 2021

36. Grimm C, Wenzel A, Williams T, Rol P, Hafesi F, Remé C. Rhodopsin-mediated blue-light damage to the rat retina: effect of photoreversal of bleaching. Invest Ophthalmol Vis Sci.2001; 42(2):497—505. Standard ISO 8980-3:2003(E).

37. Rozanowska M, Sarna T. Light-induced damage to the retina: role of rhodopsin chromophore revisited. Photochem Photobiol. 2005;81(6):1305–1330. https://doi.org/10.1562/2004-11-13-1R3-3

38. Parver LM, Auker CR, Fine BS. Observations on monkey eyes exposed to light from an operating microscope. Ophthalmology. 1983; 90(8): 964–972. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(83)80024-4

CAPÍTULO 3

CRISTALINO DO OLHO HUMANO E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Fernanda Oliveira Duarte

INTRODUÇÃO

Durante o aparecimento de vida na Terra e sua evolução, a radiação solar teve papel primordial. Sem a energia solar não haveria fotossíntese e, consequentemente, não teríamos o acúmulo do oxigênio na atmosfera, já que este é um dos produtos finais desse importante processo biológico. Deste modo, a radiação eletromagnética solar passa a ser a maior e a principal fonte de energia para a Terra. Ela participa de vários processos físicos (ex.: evaporação), químicos (ex.: produção de ozônio) e biológicos (ex.: fotossíntese, bronzeamento) além de ser um dos fatores preponderantes nas manifestações climáticas e atmosféricas (1).

Por outro lado, a radiação ultravioleta (RUV) é o componente mais prejudicial e mutagênico do espectro solar por conter mais energia que a luz visível e infravermelha. Portanto, é considerado o agente lesivo de natureza física mais comum e biologicamente relevante (1). Além disso, sua percepção não é imediata, isto é, enquanto a radiação infravermelha se manifesta na forma de calor e a luz visível pode ser vista, o ultravioleta não provoca nenhuma reação que desperte algum dos sentidos do ser humano.

A RUV está dividida em 3 bandas do espectro de acordo com seu comprimento de onda e efeito biológico. São elas: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm). A relação de malignidade depende da energia da radiação. Quanto menor o comprimento de onda da radiação maior a energia e, portanto, maior o dano causado aos tecidos biológicos. Por essa razão, a RUV, bem como a luz azul, são biologicamente mais nocivas do que a luz nos comprimentos de onda maiores (2,3). Neste contexto, a radiação UVC é a de maior energia e, portanto, responsável por causar enormes danos aos tecidos biológicos, pois interage diretamente com a molécula de DNA celular. Apesar de ser barrada pela camada de ozônio e não atingir a superfície terrestre, a radiação UVC é muito utilizada em laboratórios para investigação de danos ao DNA e para descontaminação de equipamentos e materiais.

A radiação UVB representa apenas 5% da RUV que chega à superfície terrestre. Causa efeitos mutagênicos, carcinogênicos e letais aos organismos vivos devido a sua capacidade de interagir com a molécula de DNA. Existe uma grande preocupação com a camada de ozônio, pois o aumento dos níveis de radiação UVB na superfície terrestre,

pode causar a elevação de seus efeitos deletérios na biosfera [4–6].

A radiação UVA está representada por 95% da RUV que atinge a superfície terrestre. Era considerada relativamente inócua à saúde, mas com o avanço dos estudos, tem sido demonstrado que esse tipo de radiação tem participação no envelhecimento e carcinogênese em pele humana. A radiação UVA atua excitando cromóforos, substâncias capazes de absorver a luz e que agem como fotossensibilizadores endógenos, promovendo a produção de espécies reativas de oxigênio (ex.: peróxido de hidrogênio). Porém, há controvérsias com relação a sua genotoxicidade, já que é pouco absorvida pela molécula de DNA. Neste contexto, Yagura e cols. (2017) [7] demonstraram a formação de lesões no DNA pela absorção direta de UVA e não por danos gerados por produtos oxidativos. Portanto, ainda que a absorção da radiação UVA pelo DNA ocorra em menor magnitude (na ordem de 10^{-5} vezes menos) e levando em conta que na superfície terrestre existe uma maior intensidade dessa radiação, cerca de 20 vezes mais intensa que UVB, deve-se evitar a exposição excessiva à radiação solar.

Além disso, as evidências demonstram que a RUV também causa danos ao olho humano, o qual possui especificidade para a fotorrecepção. É esse órgão que permite que captemos imagens do ambiente ao redor e é onde se inicia o processo da visão que, para o ser humano, é responsável por mais de 90% das informações que somos capazes de captar. Quando ocorre queda na acuidade visual, por exemplo, pela lesão nesse órgão, surgirão sérias limitações entre a interação do indivíduo com o mundo ao seu redor. Sendo assim, a capacidade de enxergar depende das diferentes estruturas do globo ocular. Dentre elas podemos citar a córnea, esclera, íris, coroide, corpo ciliar, humor aquoso e humor vítreo, cristalino, retina e mácula. Os raios de luz são refratados e focados pela córnea, cristalino e humor vítreo. A função do cristalino está em garantir que esses raios sejam focados de forma nítida sobre a retina. Nela, milhares de células fotorreceptoras transformam as ondas luminosas em impulsos eletroquímicos, que serão, através do nervo óptico, transmitidos para o cérebro para serem decodificados.

Com relação à saúde ocular, estudos em animais e cultura de células mostraram que, o dano cumulativo da luz é o resultado tanto de uma exposição menos intensa por um período mais longo como, também está frequentemente relacionada com a perda de proteção endógena devido ao avanço da idade [8]. Em qualquer um desses casos, vão ocorrer alterações nas propriedades físicas das proteínas presentes no cristalino, resultando em opacificação dessa estrutura. Como há pouca renovação das proteínas do cristalino, as lesões tornam-se cumulativas [9] ao longo da vida [10]. Alterações ou danos desse processo de reparo, implica na agregação das proteínas do cristalino e dispersão da luz, resultando na condição clínica conhecida como catarata. Portanto, preservar as proteínas do cristalino é crucial para prevenir sua opacidade e manter a saúde ocular [11–13] pois a catarata pode levar à cegueira se não tratada e o único tratamento atual disponível é o cirúrgico que

substitui o cristalino afetado por um cristalino sintético.

CRISTALINO

Para que a luz seja focada na retina, o olho precisa da atuação de duas lentes. Uma é a córnea, que possui graduação fixa de cerca de 43 dioptrias. A outra é o cristalino, com característica elástica, podendo variar de 19 a 33 dioptrias, de acordo com as necessidades visuais. A córnea é a lente transparente localizada na frente do olho. Por outro lado, o cristalino não é visível pois encontra-se localizado entre a íris (parte colorida do olho) e o humor vítreo. A íris possui uma abertura circular central chamada pupila que se contrai e relaxa de acordo com a intensidade luminosa do ambiente, controlando a entrada de luz no olho (11,13).

Apresentando comprimento de 7 a 9 mm no seu maior eixo e com 2 a 4 mm de espessura, o cristalino é basicamente formado por três partes (Figura 1):

1) *Fibras do cristalino:* São células de forma prismática alongada e fina, altamente diferenciadas, originárias das células do cristalino embrionário. O citoplasma possui muito poucas organelas pois essas células as perdem, assim como a seus núcleos e alongam-se consideravelmente. Suas fibras se unem através de desmossomos e, geralmente, se orientam em direção paralela à superfície do cristalino;

2) *Cápsula do cristalino:* é um revestimento acelular homogêneo e hialino com característica elástica, sendo mais espesso na face anterior do cristalino. É constituído predominantemente de colágeno tipo IV e glicoproteínas;

3) *Epitélio subcapsular:* é encontrado somente na região anterior do cristalino, e é formado por uma camada única de células epiteliais cuboides. É neste epitélio que se originam as fibras responsáveis pelo aumento gradual do cristalino durante o processo de crescimento (14).

Portanto, podemos dizer que o cristalino é um tecido avascular, composto por uma única camada de células epiteliais na superfície subcapsular anterior, encapsulado numa membrana basal de colágeno e que obtém todos os seus nutrientes e oxigênio do humor aquoso e do humor vítreo.

DIFERENCIAÇÃO CELULAR

É na zona equatorial que as células epiteliais começam a se diferenciar. As células passam a se alongar, se transformando em células fibrosas. Nesta fase, passam pelo processo de desnucleação e perda das organelas. Inicia-se a síntese de grandes quantidades de proteínas estruturais, denominadas cristalinas. As fibras maduras, têm

suas proteínas devidamente ordenadas proporcionando a transparência do cristalino, permitindo um índice de refração elevado para facilitar a visão (Figura 1). Este processo continua ao longo da vida, embora com um ritmo mais lento, com as células de fibras mais novas empurrando as fibras mais antigas para a região central (nuclear) da lente. A fibras maduras não se dividem e existe um *turnover* mínimo de seus constituintes proteicos (14,15).

A composição e a arquitetura do cristalino do olho, com suas células de fibras alongadas e repletas de proteínas solúveis estáveis e de vida longa, são essenciais para a transparência e propriedades refrativas do cristalino, garantindo a ele a capacidade de focar a luz na retina, permitindo a visão.

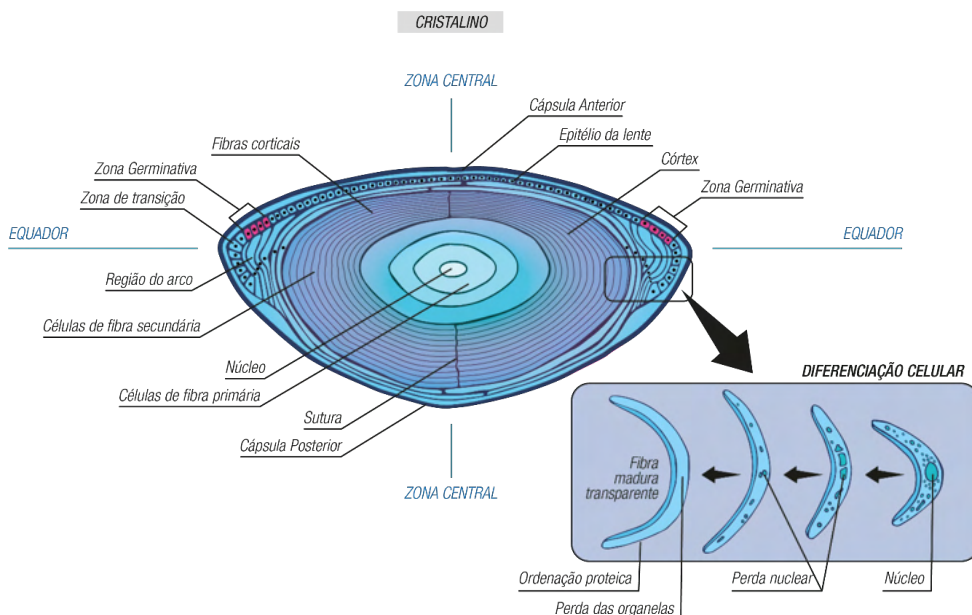



Figura 1. Estrutura do cristalino e processo de diferenciação celular das células epiteliais.

Fonte: Ilustração: Raíssa Reame & Infográfico: Gustavo Duarte (www.gustavoduarte.tv).

Embora o cristalino tenha mecanismos de proteção para preservar sua função durante toda a vida de um indivíduo, o envelhecimento e fatores ambientais causam sua deterioração. Deste modo, alterações nas propriedades físicas das proteínas por trauma físico, dano cumulativo à luz ou *turnover* defeituoso relacionado à idade, levam ao agrupamento molecular com opacificação do tecido e perda da qualidade óptica, clinicamente descrita como catarata (9,10,14,16).

ACOMODAÇÃO VISUAL

Para que o cristalino possa desempenhar seu papel, ele se fixa em um anel de músculo liso, usando um sistema delicado de filamentos inelásticos. Este músculo, chamado de músculo ciliar, está ligado à face interna da esclera, adjacente à base da íris. Quando se contrai, a diminuição de seu diâmetro interno alivia a tensão nos filamentos e o cristalino assume uma configuração mais curva e opticamente convergente. Quando o músculo relaxa, a retração de sua superfície interna puxa o sistema de filamentos, tornando o cristalino nivelado e, portanto, menos convergente (Figura 2).

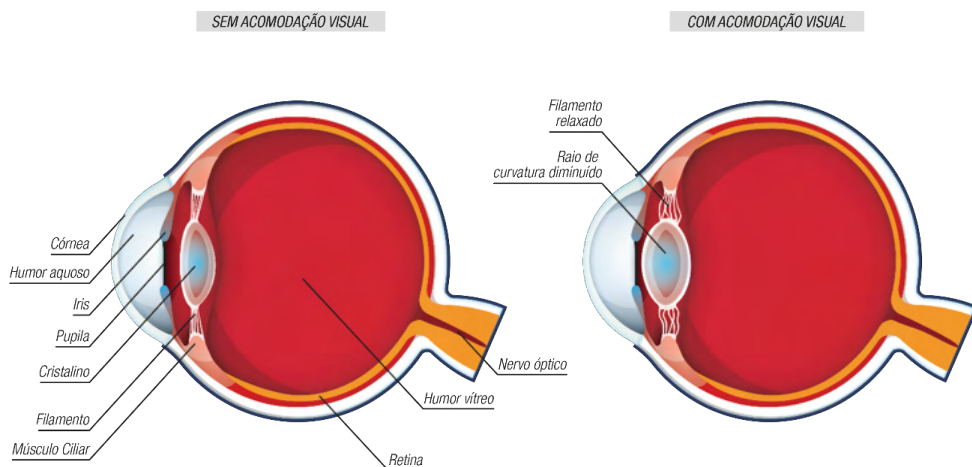



Figura 2. Acomodação visual do cristalino.

Fonte: Ilustração: Raíssa Reame & Infográfico: Gustavo Duarte (www.gustavoduarte.tv).

A variação na curvatura do cristalino é conhecida como acomodação visual, e é por meio dessa acomodação que o olho ajusta o foco. Embora a contração muscular seja um processo ativo, a variação do formato do cristalino é passivo, governada pela memória elástica da lente que tende à esfericidade [(11,13)](Figura 2).

CATARATA

Dados indicam existir no mundo 50 milhões de cegos, cerca de 180 milhões de pessoas com alguma deficiência visual e 135 milhões com deficiência visual e risco de cegueira [(18)]. Cerca de 47,8% dos casos mundiais de cegueira é devido ao desenvolvimento da catarata que ocorre, principalmente, em consequência dos efeitos cumulativos da exposição à radiação solar, durante o envelhecimento. Outros fatores ambientais, como o tabagismo, diabetes e álcool também são fatores de risco que podem contribuir para o desenvolvimento da catarata [(17)].

A catarata causa a opacificação do cristalino, podendo espalhar-se até que toda a estrutura acabe por perder a sua transparência. Portanto a catarata é caracterizada pelo aumento da absorção e espalhamento da luz pelo cristalino do olho, o que resulta em diminuição da transmissão da luz para a retina, acarretando efeito negativo na visão [11,13,19,20] (Figura 3).

Clinicamente, a catarata não congênita pode se apresentar de diferentes maneiras no cristalino, caracterizada de acordo com a localização de início da opacificação. A mais comum e que está relacionada com o envelhecimento é a do tipo nuclear. Existe também a catarata do tipo subcapsular posterior e a catarata do tipo cortical que é a que possui maior relação com a RUV [17]. De acordo com estudo realizado por Pajer e colaboradores, o cristalino humano possui padrões diferentes de transmissão da RUV, sendo a região cortical anterior responsável pela baixa taxa de transmitância de UV e perda substancial de transmitância de UVC, o que explicaria a maior relação dessa região com o desenvolvimento da catarata cortical [21].

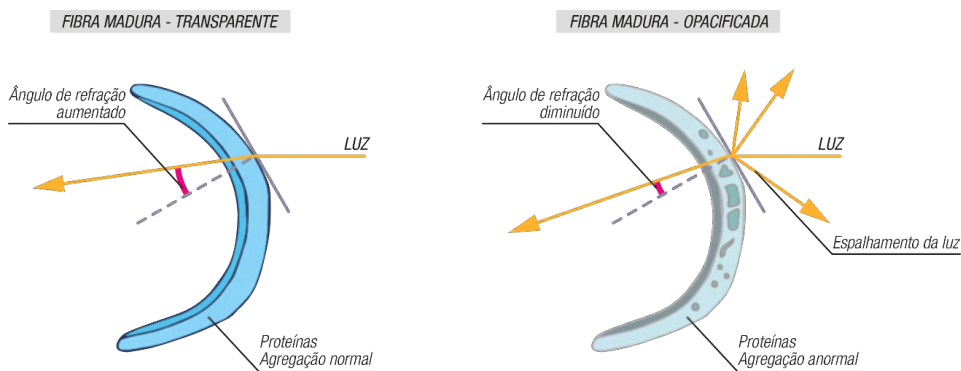



Figura 3. Refração da luz na fibra do cristalino transparente e opacificada.

Fonte: Ilustração: Raíssa Reame & Infográfico: Gustavo Duarte (www.gustavoduarte.tv).

Os estudos experimentais da catarata, são normalmente, realizados em animais ou cultura celular, o que limita nosso entendimento dos reais efeitos da radiação UV no desenvolvimento dessa doença. De fato, é importante ressaltar que, os cristalinos de espécies diferentes de mamíferos possuem diferenças na transmitância da RUV. Por exemplo, o coelho tem o padrão de transmitância mais próximo dos humanos enquanto que o rato, tem as propriedades mais próximas a das aves, que possuem a córnea como o filtro de corte de UV dominante. Já em coelhos e em porcos, é o cristalino que desempenha essa função [6].

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E O CRISTALINO DO OLHO HUMANO

Devemos ter em mente que, as funções do cristalino estão baseadas em sua biologia. Deste modo, a microarquitetura do cristalino, incluindo as células de fibra e as proteínas cristalinas densamente compactadas, permite sua transparência e desempenho [11,12,22]. Portanto, é essencial para prevenção da opacidade do cristalino, que as proteínas, principalmente aquelas presentes nas células diferenciadas, fiquem intactas uma vez que, possuem *turnover* muito baixo [13]. Na verdade, os mecanismos que afetam a homeostase do cristalino promovem danos oxidativos aos seus constituintes e, proteínas cristalinas prejudicadas promovem a agregação e o desenvolvimento da catarata [13].

Em seres humanos, o principal fator de risco para o desenvolvimento da catarata é a idade. No entanto, estudos com animais e epidemiológicos têm sugerido que a RUV causa danos ao cristalino, levando ao desenvolvimento da catarata. Levando em conta que o olho humano está continuamente exposto a altos níveis de luz e, consequentemente, aos raios ultravioletas, é de extrema importância o conhecimento dos possíveis efeitos dessa exposição à saúde ocular.

Desde o século 19 se discute a possibilidade de haver desenvolvimento da catarata devido a longa exposição aos raios UV advindos do sol. Realmente, durante o dia, o olho humano está exposto as radiações ultravioletas, visível e ondas de radiação infravermelha. Além disso, a exposição do olho ao sol, depende do albedo e da geometria da exposição do olho em relação a elevação do sol a qual, varia com a latitude [1,23,24]. Assim, especificamente nos períodos matutino e vespertino, nos quais a elevação solar é baixa, os usuários de óculos de sol se beneficiam das lentes com proteção UV. Também, as doses de UV durante dias nebulosos, contribuem significativamente para doses globais de UV, enfatizando a importância da proteção UV ocular durante todo o dia [1].

Evidências sugerem que, a exposição crônica do cristalino à RUV seja um dos fatores determinantes na alteração das interações e conformação das cristalinas in vivo, aumentando assim a cataratogênese [6,14,17,21]. Porém, o cristalino possui estratégias endógenas para se proteger contra danos causados pela RUV, mas que quando em desequilíbrio, podem levar a alteração das propriedades físicas das proteínas. Por exemplo, as próprias cristalinas funcionam como filtros moleculares de radiação UVB. Tanto as cristalinas modificadas, devido a algum prejuízo no processo de proteção, como os metabólitos produzidos a partir de filtros não UVs, são alternativas de absorção da radiação UVA. Sendo assim, as proteínas podem sofrer agregação por vias diferentes, quando expostas à excessiva radiação UVA e UVB.

Acredita-se que, as reações fotoquímicas que ocorrem dentro do cristalino, podem induzir à modificações pós traducionais (alterações químicas após o processo de tradução) das proteínas do cristalino, resultando na sua coloração, agregação e insolubilização,

podendo culminar no desenvolvimento da catarata [22]. De fato, a RUV solar que penetra no interior do olho, é um dos principais fatores que causam a produção de radicais livres que, quando em desequilíbrio, leva a condição biológica conhecida como estresse oxidativo [17]. O desenvolvimento das patologias, como por exemplo a catarata, tem início em um processo semelhante ao do estresse oxidativo induzido pela fototoxicidade [6,17,25].

ESTRESSE OXIDATIVO

Durante os processos metabólicos, que são contínuos e de caráter fisiológico, há a geração de radicais livres, que são as espécies reativas de oxigênio (ROS), que irão cumprir funções biológicas importantes. Os Radicais livres são átomos ou moléculas que apresentam um ou mais elétron desemparelhado nos orbitais externos. Podem agir tanto como aceptores como doadores de elétrons, promovendo mudanças no ambiente molecular ao seu redor. São eles o íon hidroxila ($OH^{\cdot}$), íon peroxil ($HOH^{\cdot}$), ânion superóxido ($O2^{\cdot-}$), óxido nítrico (NO) e oxigênio molecular (O_2). Atuam como mediadores na transferência de elétrons durante as reações bioquímicas e, quando produzidos em quantidades adequadas, possibilitam que haja a geração de ATP (moléculas de alta energia) por meio da cadeia transportadora de elétrons; a ativação de genes; a fertilização do óvulo e, durante o processo de infecção, atua nos mecanismos de defesa. Além disso, o estresse oxidativo é responsável pelo desencadeamento da cascata de eventos apoptóticos (processo de morte celular programada) e do envelhecimento celular.

No entanto, quando produzido em excesso, pode culminar em danos oxidativos. Uma forma de controlar a produção contínua de radicais livres e, limitar seus níveis intracelulares e possíveis danos oxidativos, é através dos mecanismos de defesas antioxidantes presentes nas células. Neste contexto, entendemos que o estresse oxidativo se instala perante a existência da quebra do equilíbrio entre os compostos oxidantes e antioxidantes, sendo a produção de radicais livres excessiva em relação a sua velocidade de remoção. Esse processo, quando crônico, leva a um potencial dano oxidativo de tecidos e moléculas devido a oxidação das biomoléculas, culminando na perda de funções biológicas e/ou desequilíbrio homeostático. Muitas enfermidades crônicas não transmissíveis, tem o processo de estresse oxidativo como principal implicação na etiologia da doença.

Especificamente em relação ao olho humano e a RUV, normalmente conseguem se proteger contra os efeitos nocivos da luz ultravioleta. O que ocorre é que, após a exposição à RUV, existe a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), sendo o oxigênio singlete a forma mais reativa do $O_{2.}$ No cristalino jovem, após a exposição a RUV, existe uma ação protetiva natural, através de seus compostos de filtro ultravioleta, que por sua vez, são proteínas com propriedades fotossensibilizantes que absorvem o ultravioleta e dissipam a energia UV em calor e em vibração de forma eficiente [17]. Ocorre também o aumento

da expressão de diferentes genes antioxidantes como a superóxido dismutase, catalase e glutationa peroxidase, que darão suporte a defesa contra o estresse oxidativo intracelular.

Por outro lado, o acúmulo das ROS, traz como consequência a desnaturação das proteínas cristalinas e do aminoácido triptofano. O triptofano atua na proteção das cristalinas absorvendo a energia da luz UVB. São derivados desses aminoácidos os principais compostos que possuem as propriedades de filtro. Encontram-se abundantemente no núcleo do cristalino humano até a meia-idade. Com o envelhecimento, sua concentração diminui e passam a fazer parte de reações químicas se ligando a proteínas do cristalino, o que os torna ineficazes e bastante prejudiciais no processo de cataratogênese [6,10,17,26].

Além dessas vias, a exposição a RUV também leva ao aumento da ROS pelas mitocôndrias das células epiteliais do cristalino, causando aumento da peroxidação lipídica e danos à membrana celular. Ocorrem também, danos nas junções comunicantes dentro da membrana celular, prejudicando a comunicação antioxidante intercelular [6,17].

TRANSMITÂNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NO CRISTALINO

Inquestionavelmente, a radiação solar UVA e UVB chegam aos olhos humanos. Apesar da córnea absorver muito da radiação UV, uma quantidade significativa dessa radiação chega até o cristalino ocular [21] que, cumpre também a importante tarefa de filtrar a RUV, além do papel de focar a luz incidente na retina [27]. Na revisão de Kamari e colaboradores [17], há o relato de estudos que demonstram o risco aumentado de desenvolver a catarata devido a essa capacidade do cristalino em absorver parte da radiação UVB e UVA e, assim como a córnea, de absorver UVs com menos de 370 nm.

De fato, esse perfil de absorção da radiação pelo cristalino também foi observado por, Duarte *et. al.* (2021) [27], em cristalinos humanos intactos. Os autores utilizaram uma metodologia que visa a preservação total do cristalino, através do uso de um suporte projetado para acomodar esta estrutura de maneira que se mantenha intacta e imóvel. A transmitância medida em dias diferentes (dia 1, 2 e 3), não apresentou alteração de perfil, devido ao não manuseio do cristalino e, portanto, preservação das proteínas cristalinas e leitura espectroscópica sempre na mesma região e posição (Figura 4). Os autores observaram que há transmitância espectral insignificante nas faixas de UVA e UVB, com absorção da RUV até aproximadamente 390-400 nm (Figura 4).

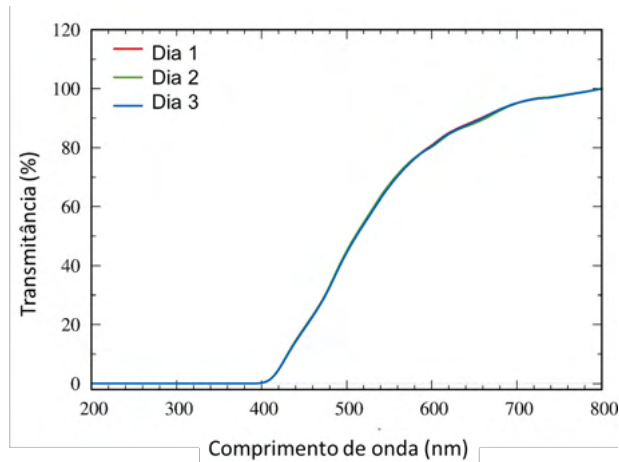



Figura 4. Medições espectroscópicas de cristalino humano intacto acomodado em um suporte específico.

Fonte: Imagem fornecida e adaptada de Duarte *et. al.* (2021) [27].

A espectroscopia do cristalino intacto também demonstrou que, à medida que o comprimento de onda da radiação aumenta em direção ao espectro visível, a transmitância também aumenta, com seu pico na região vermelha (Figura 4). Portanto, mesmo com a córnea absorvendo parte da radiação UVB, o cristalino ainda recebe radiação em seu epitélio e é a exposição cumulativa ao longo de muitos anos que pode afetar negativamente esse órgão [28].

Além disso, a absorção de UV, nas regiões UVA e visível, pelas proteínas do cristalino humano, aumenta substancialmente com a idade. A radiação infravermelha mais curta transmitida pela córnea, também é absorvida, com características do espectro do infravermelho próximo, mas também é dependente da idade [24]. Sendo assim, cristalinos humanos mais envelhecidos absorvem todos os comprimentos de onda da luz UVA e azul, filtrando-os da retina. Neste caso, a absorção do cristalino se estende a comprimentos de onda na região visível até 550 nm. Assim, embora o UVB possa ter um potencial maior para causar danos, a quantidade de radiação UVA que atinge o cristalino humano é de duas ordens de grandeza maior [24]. Neste sentido, de acordo com Zelentsova *et.al.* (2017) [22], pode-se supor que o aumento da absorção pela proteína do cristalino, relacionado à idade, enfraquece a proteção UV da lente, principalmente da radiação UVA. Estes achados aumentam a preocupação em relação a saúde ocular, frente a exposição à radiação UV e seus possíveis danos ao cristalino. Inclusive, muitos estudos utilizam levantamentos destinados a estimar alguma medida de exposição UV para uma determinada ocupação ou estilo de vida sob o sol [22,29].

Por outro lado, estudos utilizam animais experimentais para induzir a catarata

através de diferentes metodologias mas, com poucas exceções, não fica claro se as rotas para a opacificação do cristalino, em laboratório, apresentam paralelos na população humana [30]. Neste sentido, um levantamento da literatura deixa claro que alguns estudos mostram correlações de incidência de catarata com exposição à luz solar UV, outros não. Os resultados raramente são conclusivos ou indiscutíveis, o que os torna crítico. Estudos em animais levantam alguns questionamentos já que, geralmente, são usadas exposição de irradiância excessiva ou, a espécie particular estudada não possui o cristalino suficientemente similar ao cristalino humano ou, o comprimento de onda utilizado pode ser absorvido da córnea [6,30]. No entanto, a maioria dos estudos apontam para os efeitos prejudiciais da irradiação UV no cristalino.

Finalmente, neste contexto, a radiação UV representa um risco de dano crescente para os tecidos e órgãos expostos a ela. Além disso, a exposição aos raios UV não se limita a estadias prolongadas ao ar livre em dias ensolarados. Pelo contrário, a exposição à radiação UV ocorre constantemente, durante exposições ao sol de curto prazo como por exemplo dentro de um carro pela exposição solar através das janelas laterais [1]. Portanto, sabendo que as doses de UV recebida pelos olhos acumulam-se durante todo o dia, o tempo todo e, não apenas durante os períodos de exposição direta ao sol, conhecer os possíveis e reais impactos negativos da radiação UV sobre a saúde ocular torna-se urgente.

Neste contexto, a dificuldade em manusear o cristalino e o uso de modelos animais e, mesmo de protocolos experimentais que não representam o ambiente natural, são limitações para extrapolar resultados obtidos em pesquisas para os humanos [31]. Em um estudo conduzido com o intuito de eliminar as limitações metodológicas em função da dificuldade de manuseio do cristalino humano intacto, os autores desenvolveram um suporte para acondicionar o cristalino humano (Figura 5 A) que, permite realizar ensaios biológicos evitando seu manuseio e possíveis interferências na estrutura física das proteínas [27]. Neste suporte, o cristalino intacto é fixado pelo músculo ciliar, em pinos que, se encontram fixos em uma das partes do suporte (Figura 5 B), permitindo que o cristalino fique “flutuando” dentro do suporte (Figura 5 C). Deste modo, de acordo com os autores, a utilização desse suporte poderá contribuir para diversificar os estudos experimentais que poderão ser realizadas com o cristalino humano intacto e, mimetizar a exposição a RUV natural [27].

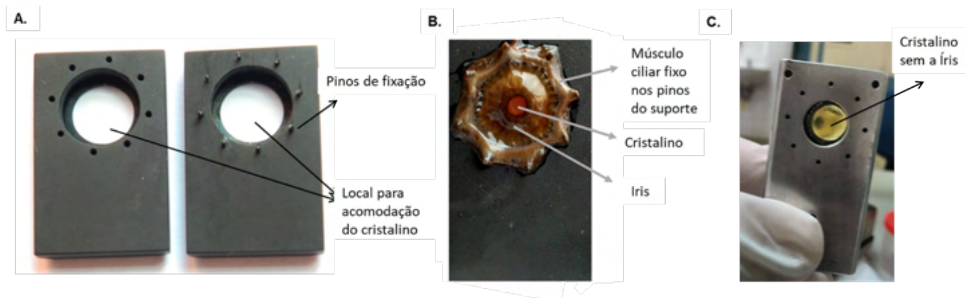



Figura 5. Suporte para acomodação do cristalino. A. Suporte desmontado mostrando os oito pinos de fixação; B. Cristalino (ainda com a íris) acomodado no suporte pela fixação do musculo ciliar aos pinos; C. Suporte montado com o cristalino, sem a íris.

Fonte: Adaptado de Duarte *et al.* (2021) [27].

Estudos desta natureza são importantes pois podem contribuir para um maior conhecimento dos mecanismos de desenvolvimento da catarata e sua relação com a RUV e, consequentemente, possíveis tratamentos e estratégias de prevenção, já que atualmente, os óculos e lentes com filtro UV são a única maneira física preventiva conhecida para proteção dos olhos. Este fato é preocupante, pois as lentes de óculos de sol, dependendo da ISO vigente de cada país, exige proteção na faixa total da RUV ou somente até o comprimento de onda de 380 nm, como no Brasil. No entanto, no estudo de Masili e colaboradores (2019) [32] foi observado que as lentes dos óculos de sol sofrem alteração na transmitância luminosa e diminuição, mesmo que pequena, na proteção UV das lentes, após teste de resistência à radiação de longa duração. Este fato, levanta a necessidade de maior atenção com a qualidade das lentes de óculos de sol, uma vez que os efeitos cumulativos da RUV nos tecidos biológicos devem ser considerados [32].

Por outro lado, alguns fatores externos, estão sendo propostos visando a proteção do olho dos danos induzidos por UV. Dentre eles estão as lentes de contato, colírios de cafeína (devido sua ação na via da apoptose celular), zinco e vitamina E (pois atuam na via apoptótica mitocondrial para proteger as células epiteliais do cristalino) e, o uso tópico de antioxidantes [17].

O cristalino do olho é uma estrutura que, apesar de aparentemente simples, sua biologia e metabolismo são complexos. Possui capacidade endógena de se proteger contra danos promovidos pela RUV mas que, quando acumulados podem contribuir para o desenvolvimento da catarata. Deste modo, existem evidências de que a RUV, assim como o envelhecimento, são fatores que promovem alteração estrutural e metabólica das proteínas presentes no cristalino. Apesar de não ter trabalhos experimentais especificamente com cristalino humano intacto que comprove a relação da RUV com o desenvolvimento da catarata, estudos sugerem existir forte influência dessa radiação no processo da cataratogênese.

REFERÊNCIAS

1. Rifai K, Hornauer M, Buechinger R, Schoen R, Barraza-Bernal M, Habtegiorgis S, *et al*. Efficiency of ocular UV protection by clear lenses. Biomed. Opt. Express 2018;9(4):1948.

2. Sliney DH. Optical radiation safety of ophthalmic sources. Lasers Light Ophthalmol. 1997;8(2):97–108.

3. Grimm C, Reme CE, Rol PO, Williams TP. Blue light's effects on rhodopsin: Photoreversal of bleaching in living rat eyes. Investig. Ophthalmol. Vis. Sci. 2000;41(12):3984–90.

4. Hoeijmakers JHJ. Genome maintenance mechanisms for preventing cancer. Nature 2001;411(6835):366–74.

5. Krutmann J, Béhar-Cohen F, Baillet G, de Ayguavives T, Ortega Garcia P, Peña-García P, *et al*. Towards standardization of UV eye protection: What can be learned from photodermatology? Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. 2014;30(2–3):128–36.

6. Lofgren S. Solar ultraviolet radiation cataract. Exp. Eye Res. [Internet] 2017;156:112–6. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.exer.2016.05.026

7. Yagura T, Schuch AP, Garcia CCM, Rocha CRR, Moreno NC, Angeli JPF, *et al*. Direct participation of DNA in the formation of singlet oxygen and base damage under UVA irradiation. Free Radic. Biol. Med. 2017;108:86–93.

8. Giblin FJ, Leverenz VR, Padgaonkar VA, Unakar NJ, Dang L, Lin L-R, *et al.* UVA Light In vivo Reaches the Nucleus of the Guinea Pig Lens and Produces Deleterious, Oxidative Effects. Exp. Eye Res. 2002;75(4):445–58.

9. Xiang J, Kang L, Gao H, Wu J, Qin B, Zhou T, *et al*. BLM can regulate cataract progression by influencing cell vitality and apoptosis. Exp. Eye Res. [Internet] 2019;178:99–107. Available from: https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.08.022

10. Roberts JE. PHOTOBIOLOGY of the HUMAN LENS. Fordham Univ. Dep. Nat. Sci. [Internet] 2011;1–13. Available from: http://photobiology.info/Roberts.html

11. Andley UP. The lens epithelium: Focus on the expression and function of the α-crystallin chaperones. Int. J. Biochem. Cell Biol. 2008;40(3):317–23.

12. Andley UP. Crystallins in the eye: Function and pathology. Prog. Retin. Eye Res.2007;

13. Hejtmancik JF, Riazuddin SA, McGreal R, Liu W, Cvekl A, Shiels A. Lens Biology and Biochemistry. Prog. Mol. Biol. Transl. Sci. 2015;134:169–201.

14. Sharma KK, Santhoshkumar P. Lens aging: Effects of crystallins. Biochim. Biophys. Acta - Gen. Subj. 2009;1790(10):1095–108.

15. Augusteyn RC. On the contribution of the nucleus and cortex to human lens shape and size. Clin. Exp. Optom. 2018;101(1):64–8.

16. Giblin FJ. Glutathione: A vital lens antioxidant. J. Ocul. Pharmacol. Ther. 2000;16Giblin F(2):121–35.

17. Kamari F, Hallaj S, Dorosti F, Alinezhad F, Taleschian-Tabrizi N, Farhadi F, *et al.* Phototoxicity of environmental radiations in human lens: revisiting the pathogenesis of UV-induced cataract. Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2019;257(10):2065–77.

18. Medina NH, Muñoz EH. Atenção à saúde ocular da pessoa idosa. Bol. Epidemiológico Paul. 2011;8(85):23–8.

19. Andley UP, Goldman JW. Autophagy and UPR in alpha-crystallin mutant knock-in mouse models of hereditary cataracts. Biochim. Biophys. Acta - Gen. Subj. [Internet] 2016;1860(1):234–9. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.bbagen.2015.06.001

20. Andley UP, Spector A. Peroxide resistance in human and mouse lens epithelial cell lines is related to long-term changes in cell biology and architecture. Free Radic. Biol. Med. 2005;39(6):797–810.

21. Pajer V, Tiboldi Á, Bae N, Li K, Kang SU, Hopp B, *et al.* The molecular background of the differential uv absorbance of the human lens in the 240-400 nm Range. Photochem. Photobiol. 2013;89(4):856–63.

22. Zelentsova EA, Yanshole L V., Fursova AZ, Tsentalovich YP. Optical properties of the human lens constituents. J. Photochem. Photobiol. B Biol. 2017;173(December 2016):318–24.

23. Sliney DH. Exposure Geometry and Spectral Environment Determine Photobiological Effects on the Human Eye. Photochem. Photobiol. 2007;81(3):483–9.

24. Söderberg PG, Talebizadeh N, Yu Z, Galichanin K. Does infrared or ultraviolet light damage the lens? Eye 2016;30(2):241–6.

25. Cetinel S, Semenchenko V, Cho JY, Sharaf MG, Damji KF, Unsworth LD. UV-B induced brillization of crystallin protein mixtures. PLoS One 2017;12(5):1–17.

26. Roberts JE, Dennison J. The Photobiology of Lutein and Zeaxanthin in the Eye. J. Ophthalmol. 2015;2015.

27. Duarte FO, Masili M, Mello MM, Faria-e-Sousa SJ, Ventura L. Development of a holder to avoid handling human crystalline lenses in biological assays. Res. Biomed. Eng. 2021;

28. Andley UP, Malone JP, Reid Townsend R. Inhibition of lens photodamage by UV-absorbing contact lenses. Investig. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011;52(11):8330–41.

29. Sasaki H, Kawakami Y, Ono M, Jonasson F, Shui YB, Cheng HM, *et al.* Localization of cortical cataract in subjects of diverse races and latitude. Investig. Ophthalmol. Vis. Sci. 2003;44(10):4210–4.

30. Truscott RJW, Wood AM, Carver JA, Sheil MM, Stutchbury GM, Zhu J, *et al*. A new UV-filter compound in human lenses. FEBS Lett. 1994;348(2):173–6.

31. Truscott RJW. Age-related nuclear cataract - Oxidation is the key. Exp. Eye Res. 2005;80(5):709–25.

32. Masili M, Duarte FO, White CC, Ventura L. Degradation of sunglasses filters after long-term irradiation within solar simulator. Eng. Fail. Anal. [Internet] 2019;103(April):505–16. Available from: https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.04.038

CAPÍTULO 4

O ÍNDICE ULTRAVIOLETA

Mauro Masili

INTRODUÇÃO

A exposição do ser humano à radiação ultravioleta (RUV) solar, acima de determinado limite, pode causar danos à saúde[1]. Embora a radiação ultravioleta solar que atinge a superfície terrestre seja do tipo não-ionizante, os danos causados à saúde, essencialmente à pele e aos olhos, devem-se a um efeito cumulativo da irradiância solar sobre esses tecidos[1]. Particularmente para o sistema ocular, esse efeito cumulativo pode induzir patologias que vão de inflamações na córnea a catarata e retinopatias[3-9]. Essas últimas, se forem severas, podem evoluir para cegueira.

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, tem todo o UVC e aproximadamente 90% do UVB absorvidos pelo ozônio, vapor d'agua, oxigênio e dióxido de carbono. A radiação UVA praticamente não é absorvida pela atmosfera. Assim, a atmosfera terrestre age como um filtro que bloqueia parte da energia radiante solar, sendo mais efetivo conforme sua espessura aumenta. A radiação solar que chega à superfície da Terra tem uma variação diurna e anual devido a fatores astronômicos e geográficos.

É indiscutível a necessidade de meios que promovam a proteção da saúde contra a radiação ultravioleta. No caso do sistema ocular, essa proteção é proporcionada pelos óculos escuros que contêm filtro ultravioleta. Uma extensa parcela da população brasileira utiliza óculos de sol, seja por finalidade estética e/ou pelo conforto visual. Assim, os óculos escuros assumem importante propósito como instrumento de proteção contra os efeitos adversos do sol, sobretudo num país tropical como o Brasil, de extensa área territorial e com índices de radiação UV que chegam próximos ao nível máximo em determinadas regiões e épocas do ano.

A RUV é o principal e mais evitável fator de risco para cânceres de pele melanoma e não-melanoma, que afetam milhões de pessoas anualmente em todo o mundo. Assim, devido à ação da radiação UV nos tecidos biológicos, principalmente na pele e nos olhos, o índice ultravioleta (IUV) foi adotado internacionalmente para conscientizar e incentivar o público a se proteger contra a RUV.

HISTÓRICO

O índice ultravioleta foi criado devido à preocupação dos cientistas com os problemas de saúde causados pelos efeitos da radiação UV excessiva na pele e nos olhos.

Com a redução do ozônio atmosférico, em 1980 os cientistas começaram a pesquisar os efeitos nocivos que a exposição a uma quantidade maior de radiação UV poderia causar. Nesse ano, a Austrália começou a relatar níveis de radiação UV do dia anterior com uma enorme campanha de proteção contra a exposição ao sol.

Em 1987 determinou-se experimentalmente em que medida a radiação UV solar provoca o eritema (vermelhidão da pele) e definiu-se o espectro de ação eritêmica que a radiação ultravioleta causa nos seres humanos.

O Canadá, em 1992, começou a emitir previsão para o dia seguinte dos níveis de UV de céu claro, chamado "Índice UV". Esse índice foi adotado pelo Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos e pela Agência de Proteção Ambiental, bem como pela Organização Meteorológica Mundial e pela Organização Mundial da Saúde em 1994. Também em 1994 os EUA começaram a emitir previsão para o dia seguinte com efeitos das nuvens. A Organização Meteorológica Mundial, juntamente com a OMS criaram um indicador padrão dos níveis de ultravioleta e continuam a usar o nome "Índice UV".

Em 1995 a OMS promoveu uma conferência para definir "Índice UV". O IUV, uma medida dos níveis de RUV na superfície da Terra, foi publicado em 1995 como resultado de uma colaboração entre a OMM, OMS, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a Comissão Internacional de Proteção contra Radiação Não-ionizante e o Escritório Federal Alemão para proteção contra radiação.

Em 1997 a OMS promoveu outra conferência para padronizar previsões de IUV e em 2000 um novo encontro foi realizado pela OMS para padronizar as mensagens de saúde e categorias da exposição.

DEFINIÇÃO

O espectro de ação eritêmica (vermelhidão da pele), que é estabelecido experimentalmente, correlaciona um determinado comprimento de onda ultravioleta com o risco de queimaduras na pele. Entre 1992 e 1994, o índice ultravioleta foi definido como uma medida do risco de queimaduras solares usando-se o espectro de ação eritêmica. Atualmente, o IUV é um padrão mundialmente aceito que auxilia o público a estimar o risco de queimaduras solares. Em tempo, para a córnea há um espectro de ação semelhante, proposto pela *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), mas não entra na definição do IUV.

O IUV é um número inteiro positivo que indica o efeito eritematoso (vermelhidão) da

pele devido à radiação ultravioleta que uma pessoa de pele branca estaria sujeita ao se expor ao sol. Ele é calculado pela expressão[8]:

$$I_{UV} = \frac{1}{25\ \mathrm{mW/m^2}} \int_{250\ \mathrm{nm}}^{400\ \mathrm{nm}} E_\lambda(\mathbf{r}, t) S(\lambda) d\lambda. \qquad (1)$$

Na equação (1), a constante multiplicativa transforma a integral em uma quantidade adimensional. Esse valor deve ser arredondado para o número inteiro mais próximo e se constitui no índice ultravioleta conhecido. Esse valor da constante faz com que uma unidade de índice UV seja equivalente a uma irradiância de 25 mW/m². Nessa equação se utiliza o espectro solar $E_\lambda(\mathbf{r},t)$, i.e., a faixa espectral da radiação solar como ela chega na superfície terrestre. A Figura 1 mostra um gráfico semilogarítmico típico da faixa do UV solar como observada na superfície da Terra.

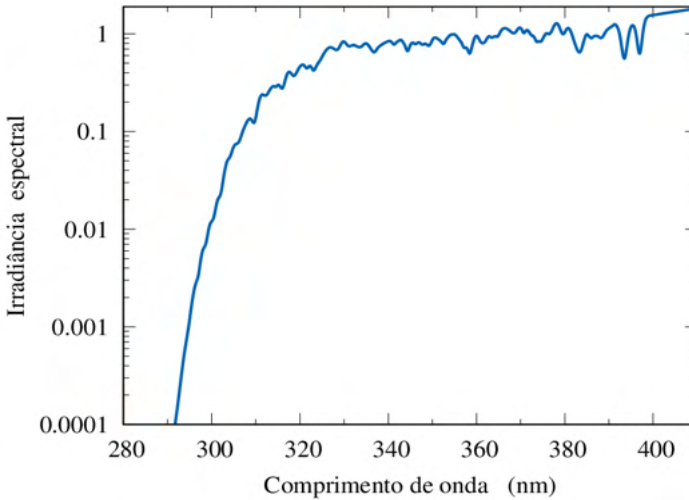



Figura 1: Espectro global da radiação ultravioleta solar na superfície terrestre.

A função $S(\lambda)$ é o espectro de ação eritêmica e é um fator de ponderação que assume diferentes valores para cada comprimento de onda da radiação UV. A Figura 2 mostra o gráfico semilogarítmico da função $S(\lambda)$.

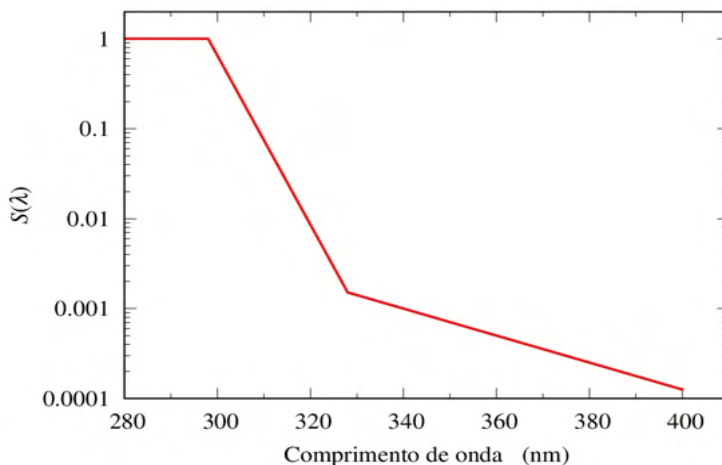



Figura 2: Espectro de ação eritêmica da pele humana caucasiana.

Observa-se nessa figura que para comprimentos de onda acima de 350 nm, $S(\lambda)$ assume valores bastante reduzidos. No entanto, mesmo considerando esse fato, deve-se atentar que os efeitos da radiação UV são cumulativos e, assim, a ICNIRP (THE INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION[(11)]) estabelece como requisito o limite superior de 400 nm para a faixa do UV.

Por fim, multiplicando-se a $E_\lambda(\mathbf{r},t)$ (Figura 1) por $S(\lambda)$ (Figura 2) obtém-se a função a ser integrada dada na Eq. (1). Essa função é mostrada na Figura 3.

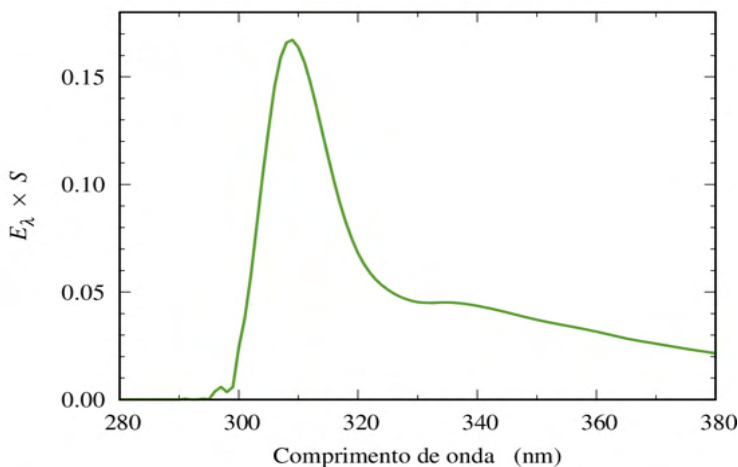



Figura 3: Produto da irradiância UV solar [$E_\lambda(\mathbf{r},t)$] pelo espectro de ação eritêmica da pele [$S(\lambda)$] utilizado na Eq. (1).

O índice UV solar foi desenvolvido como uma medida fácil de entender da radiação UV biologicamente eficaz com o objetivo de promover a conscientização pública sobre os riscos da exposição à radiação UV e proteção solar. No trabalho inicial feito no Canadá, uma irradiação eritêmica típica do verão do meio-dia de 250 mW/m^2 foi encontrada levando à definição (arbitrária) de um índice UV igual a uma irradiação eritemicamente ponderada de 25 mW/m^2. Isso dá uma faixa típica de IUV que vai de 0 a 11+.

CATEGORIAS DE ÍNDICES ULTRAVIOLETA

O índice UV passou a ser dividido em categorias para informar ao público, de uma forma fácil de ser compreendida, o risco potencial da exposição ao sol. As categorias foram sofrendo modificações ao longo do tempo conforme o entendimento dos riscos associados e da epidemiologia das doenças associadas com a exposição ao sol. A Figura 4 mostra como era a divisão em categorias até maio de 2004 e como ficou após essa data, valendo até os dias de hoje.

Antes de 2004		Após 2004	
MÍNIMO	0 – 2	BAIXO	1 – 2
BAIXO	3 – 4	MODERADO	3 – 5
MODERADO	5 – 6	ALTO	6 – 7
ALTO	7 – 9	MUITO ALTO	8 – 10
MUITO ALTO	10+	EXTREMO	11+

Figura 4: Categorias do índice UV antes de maio de 2004 e após essa data.

Cada subfaixa agora também é designada por uma cor padronizada e tem recomendações próprias, como mostradas na Figura 5 (adaptado de WORLD HEALTH ORGANIZATION[8].

Figura 5: Categorias do índice UV e as recomendações para cada categoria.

As cores padronizadas pela OMS para indicar os valores do IUV com relação às categorias são indicadas na Figura 6.

IUV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
Categoria	Baixo		Moderado			Alto		Muito Alto			Extremo
Cor	Verde		Amarelo			Laranja		Vermelho			Violeta
Pantone	375		102			151		032			265
RGB	40r 149g 0b		247r 228g 0b			248r 89g 0b		216r 0g 29b			107r 73g 200b

Figura 6: Padronização das cores para divulgação do índice UV.

O nível de radiação UV na superfície da Terra está diretamente ligado a fatores meteorológicos e atmosféricos que interferem na intensidade do UV e podem aumentar ou diminuir a sua incidência. Esses fatores são a elevação do sol, a latitude do local, as nuvens, a altitude, o ozônio e a reflexão do UV nas redondezas e na própria atmosfera.

Quanto mais alto o sol estiver no céu, mais alto o nível de radiação UV pois o caminho percorrido pela radiação solar na atmosfera vai ficando menor conforme o sol sobe. Assim, a radiação UV que chega à superfície da Terra depende da localização geográfica, do dia do ano e hora do dia. Em relação à latitude, quanto mais próximo das regiões equatoriais, maiores serão os níveis de radiação UV. Esse efeito será mostrado mais adiante.

Os níveis de radiação UV são mais elevados sob céu sem nuvens. Porém, mesmo com cobertura de nuvens, os níveis de radiação UV podem ser altos. A dispersão do UV na atmosfera pode ter o mesmo efeito que a refletância por diferentes superfícies, aumentando os níveis totais de radiação UV.

Em altitudes mais elevadas os níveis da radiação UV são maiores devido à menor

massa de ar que absorve o UV. Por exemplo, a cada 1000 metros de altitude os níveis de radiação UV aumentam de 10% a 12%.

A radiação UV é refletida ou espalhada por superfícies diferentes. Por exemplo, neve fresca pode refletir até 80% de radiação UV, areia de praia seca cerca de 15% e espuma do mar cerca de 25%. Essa percentagem de radiação refletida pelos diversos tipos de superfícies é conhecida como coeficiente de reflexão ou albedo. O albedo depende do comprimento de onda da radiação, ou seja, as superfícies não refletem de forma igual todos os comprimentos de onda. Quando se menciona o albedo apenas por uma dada percentagem sem nenhuma outra especificação, geralmente isso se refere à média das refletâncias do espectro de luz visível. A tabela 1 a seguir fornece os dados de albedo em percentagem para as faixas do UV e do visível para algumas superfícies[10].

Superfície	UVA (%)	UVB (%)	Luz visível (%)
Areia	13	9	20 – 30
Grama	2	2	15 – 25
Água	7	5	3 – 10
Neve	94	88	50 – 95

Tabela 1: Dados de albedo em percentagem para as faixas do UV e do visível para algumas superfícies[10].

A Figura 7 (adaptada de WORLD HEALTH ORGANIZATION[8]) fornece uma estimativa da variação da intensidade do UV devido aos vários fatores mencionados.

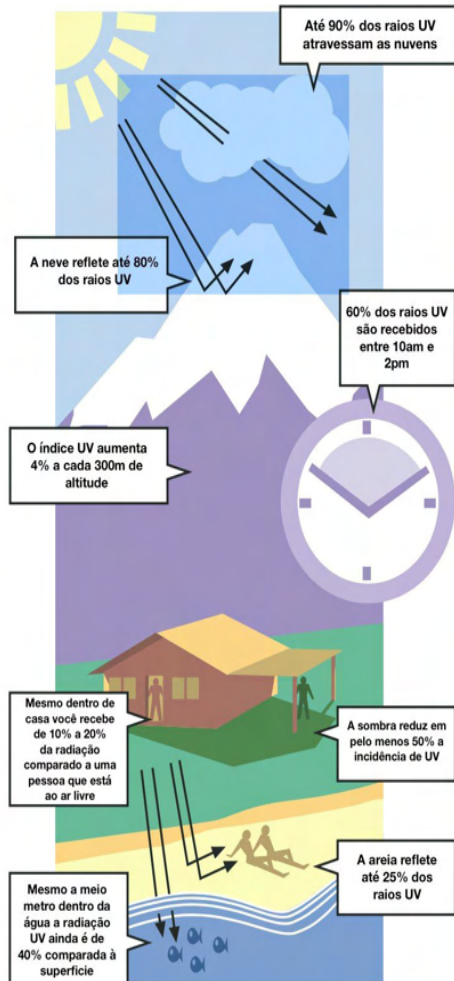



Figura 7: Influência de diversos fatores na intensidade da radiação UV solar (adaptada de WORLD HEALTH ORGANIZATION[8]).

MASSA DE AR (AM)

A massa de ar determina o comprimento do caminho ótico através da atmosfera. Quando o sol está em zênite, ao meio dia solar, o comprimento do caminho vertical é menor, por esse motivo, a incidência de radiação UV é maior, conforme pode ser visto na Figura 8. Note nessa figura que quando a incidência é oblíqua, a radiação solar fica distribuída em uma área maior e, portanto, é menos intensa pontualmente.

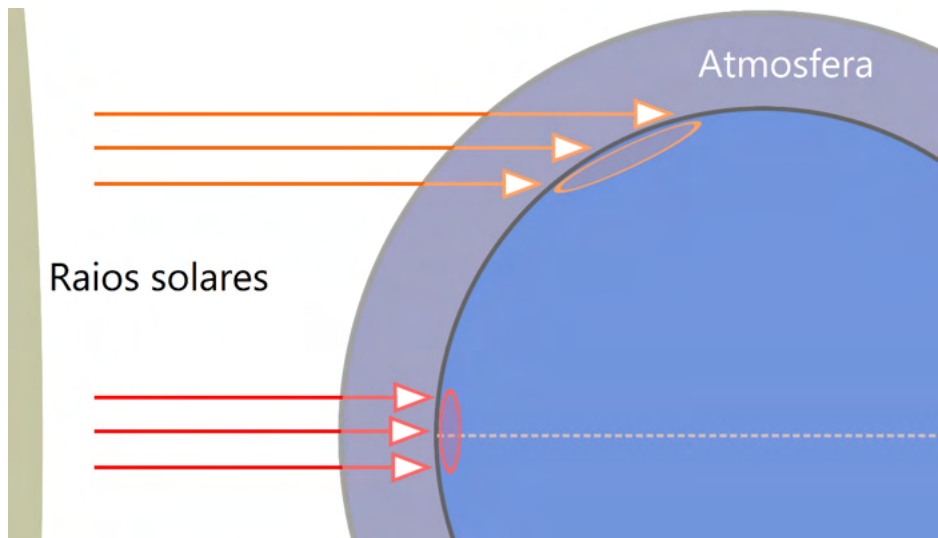



Figura 8: Incidência de UV na superfície.

Conforme pode ser observado na Figura 9, a massa de ar é dada pela razão entre o comprimento do caminho percorrido pela luz na atmosfera e o comprimento do caminho vertical. Essa quantidade é adimensional e de acordo com a elevação do sol em relação à superfície da Terra, o caminho percorrido pela luz solar pode ser maior ou menor e, assim, tem-se uma massa de ar maior ou menor respectivamente. Por exemplo, uma massa de ar igual a 2 significa que a luz solar percorre uma trajetória dentro da atmosfera que é o dobro da trajetória vertical. Isso equivale a um ângulo de incidência dos raios solares em relação ao zênite de 60,1° e denota-se AM2.0, conforme mostrado na Figura 9.

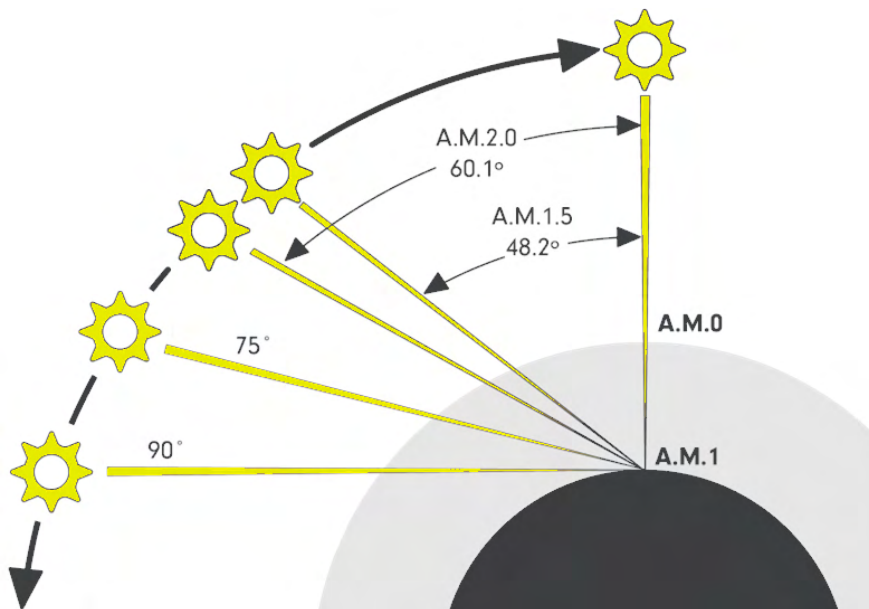



Figura 9: Massa de ar em função do ângulo de incidência dos raios solares.

Portanto, quanto maior a massa de ar, maior o caminho percorrido pela radiação solar dentro na atmosfera e consequentemente será maior a absorção de comprimentos de ondas curtos, tais como o UV até o azul. Daí o aspecto avermelhado quando o sol está baixo. Nessas condições, o IUV será menor na alvorada e no ocaso e daí surge a recomendação de evitar a exposição ao sol nos horários em que o sol está mais elevado, isto é, quando a massa de ar é menor.

ÍNDICE UV NO BRASIL E NO MUNDO

O Brasil é um país de grande extensão territorial, apresentando latitudes que compreendem um terço do hemisfério sul. Por ser um país tropical, o Brasil tem latitudes baixas que vão até o paralelo 33 aproximadamente. Isso implica em altos níveis de irradiância solar ao longo do ano, mais altos do que aqueles experimentados nos países do hemisfério norte, que são em sua maioria países de latitudes médias a altas. Essa constatação fica evidenciada pelos valores do IUV observados durante o ano nas diferentes localidades do planeta. Por exemplo, para a cidade de São Paulo, o IUV máximo de cada dia do ano pode ser visto na Figura 10. A região central do gráfico corresponde ao meio do ano, período de inverno, portanto. As extremidades são o início e o fim do ano. Nas estações quentes, o IUV máximo (ao meio-dia) pode chegar a 15 nas condições de céu limpo, sem nuvens e pouca poluição. Igualmente, nas estações mais frias, esse índice pode chegar a 5. Portanto, em São Paulo, precauções devem ser tomadas durante todo o ano.

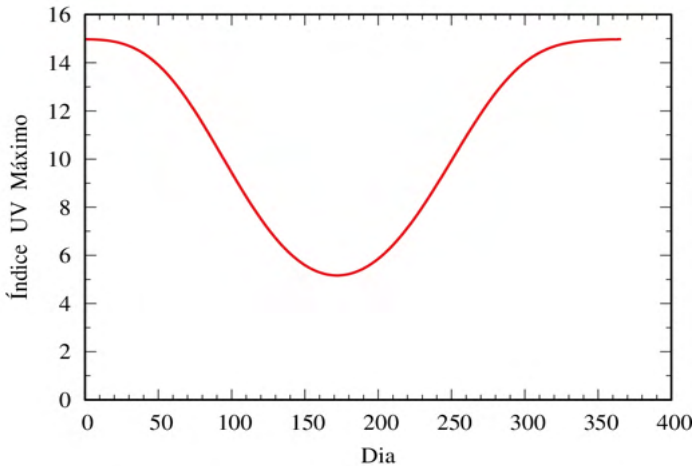



Figura 10: Índice UV ao meio-dia para a cidade de São Paulo ao longo do ano.

Para efeitos de comparação, a Figura 11 mostra o mesmo gráfico para algumas capitais brasileiras e uma capital do hemisfério norte (Londres). As cidades brasileiras escolhidas representam as latitudes mais extremas do País e intermediárias. Observe que mais ao norte, o IUV permanece muito alto durante o ano enquanto que mais ao sul o IUV varia consideravelmente durante o ano. No hemisfério norte, obviamente, a época de IUV máximo é no meio do ano, que corresponde ao verão de lá. Note que, devido à posição geográfica dos países do hemisfério norte, a irradiância solar no verão de lá corresponde ao inverno daqui nas latitudes intermediárias (Salvador). Em latitudes menores (mais ao norte), nosso inverno pode chegar a ser 50% mais intenso do que o verão europeu.

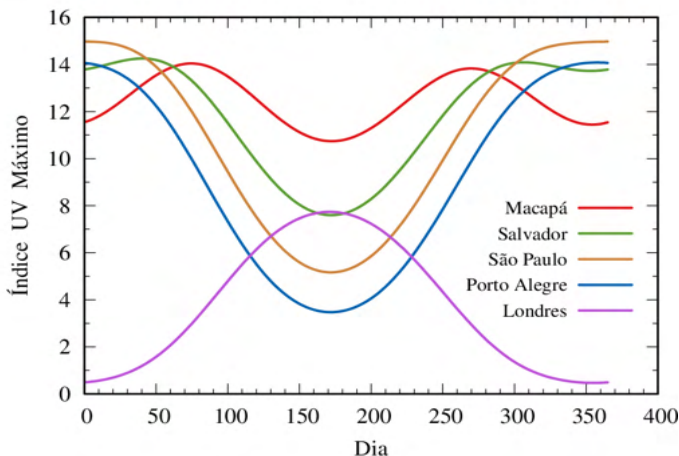



Figura 11: Comparação do IUV máximo ao longo do ano entre cidades brasileiras e uma europeia.

A fim de comparar a exposição radiante solar de datas específicas usando dados de medições por satélite, a Figura 12 ("TEMIS – Clear-sky UV index forecast and archives", [s.d.]) mostra o cenário mundial para os dias 23 de janeiro de 2021 e 23 de julho de 2021, representando dois dias típicos de verão/inverno nos dois hemisférios. A escala de cores, mostrada na parte inferior, representa a intensidade da radiação solar. O painel superior mostra o grande contraste entre os hemisférios. O inverno europeu está exposto a uma densidade energética muito baixa, próximo de zero, enquanto que nessa mesma data, no verão do hemisfério sul, a exposição radiante solar chega aos níveis mais altos da escala.

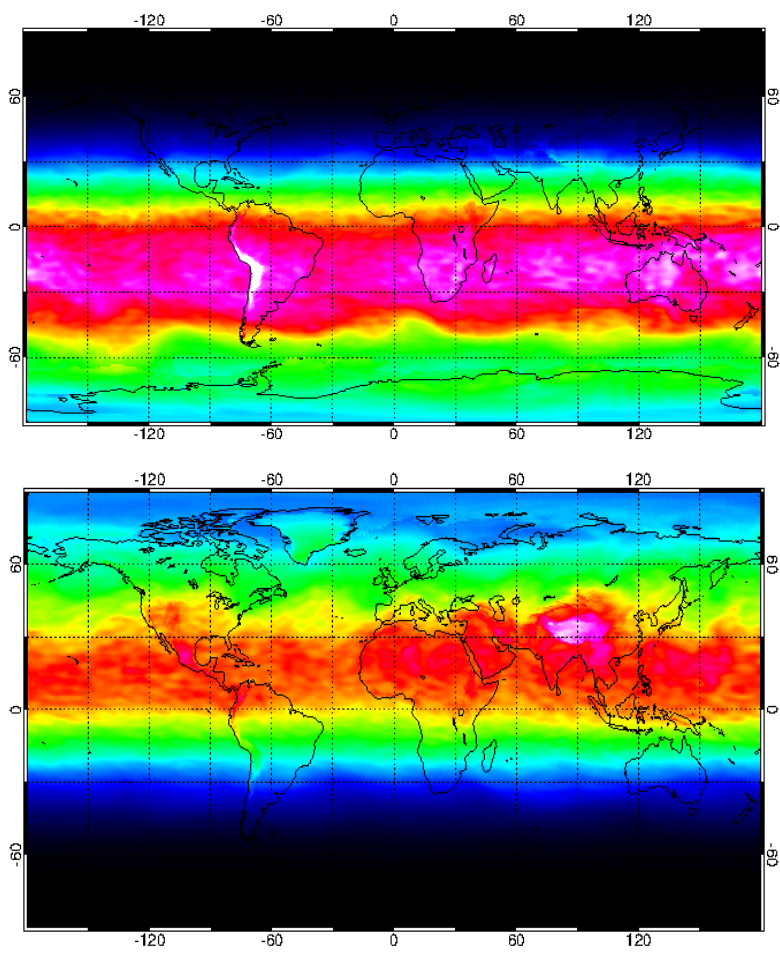



Figura 12: Mapa do índice UV máximo para os dias 23 de janeiro e 23 de julho de 2021, para céu limpo (adaptada de "TEMIS – Clear-sky UV index forecast and archives", [s.d.][(11)]) mostra o cenário mundial para os dias mencionados.

O painel inferior da figura também é elucidativo na comparação pois mostra que o

verão do hemisfério norte apresenta níveis de irradiância solar (verde na escala) que estão nos mesmos níveis do Brasil.

REFERÊNCIAS

1. DIFFEY, B. L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Physics in Medicine and Biology**, v. 36, n. 3, p. 299–328, mar. 1991.

2. DOUGHTY, M. J.; CULLEN, A. P. Long-term effects of a single dose of ultraviolet-B on albino rabbit cornea--I. in vivo analyses. **Photochemistry and Photobiology**, v. 49, n. 2, p. 185–196, fev. 1989.

3. MOORE, L. A. et al. Review of photokeratitis: Corneal response to ultraviolet radiation (UVR) exposure*. **African Vision and Eye Health**, v. 69, n. 3, p. 123–131, 12 dez. 2010.

4. ROBERTS, J. E. Ocular phototoxicity. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, ESP Conference on Photoprotection. v. 64, n. 2, p. 136–143, 15 nov. 2001.

5. SLINEY, D. H. UV radiation ocular exposure dosimetry. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 31, n. 1, p. 69–77, 1 nov. 1995.

6. SÖDERBERG, P. G. Experimental cataract induced by ultraviolet radiation. **Acta ophthalmologica Supplement**, n. 196, p. 1–75, 1 jan. 1990.

7. ZUCLICH, J. A. Ultraviolet-induced Photochemical Damage in Ocular Tissues. **Health Physics**, v. 56, n. 5, p. 671–682, maio 1989.

8. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) et al. **Global solar UV index: a practical guide**. [s.l.] WHO, 1995.

9. THE INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v. 87, n. 2, p. 171–186, ago. 2004.

10. **TEMIS – Clear-sky UV index forecast and archives**. Disponível em: <https://www.temis.nl/uvradiation/UVindex.php>. Acesso em: 16 nov. 2021.

11. CHADYŠIENĖ, R.; GIRGŽDYS, A. Ultraviolet radiation albedo of natural surfaces. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 16, n. 2, p. 83–88, 30 jun. 2008.

CAPÍTULO 5

ESTUDO SOBRE OS ÍNDICES ULTRAVIOLETA NO BRASIL

Homero Schiabel

O presente capítulo objetiva retratar de modo detalhado o comportamento do índice ultravioleta (IUV) registrado no Brasil durante um período contínuo de 12 meses. Esse registro retrata o IUV em cada uma das capitais de Estados brasileiros e foi obtido no período de fevereiro/2012 a março/2013 através de levantamento diário de dados a partir das informações proporcionadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis no *site* http://satelite.cptec.inpe.br/uv/.

O CPTEC é considerado o centro mais avançado de previsão de tempo e clima na América Latina e fornece suas previsões climáticas desde 1995. Localizado em Cachoeira Paulista (SP), é o principal referencial de dados relativos a tempo e clima no país, tendo por base dados fornecidos pelos satélites Meteosat e Goes, da rede de dados da Organização Meteorológica Mundial, do satélite brasileiro SCD-1, e das redes nacionais sob a tutela do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ligado ao Ministério da Agricultura. As informações técnicas mais detalhadas dos modelos utilizados pelo CPTEC para a determinação do IUV em todo o País estão disponíveis no mesmo endereço eletrônico, no link “documentações”, e o modelo de estimativa do índice também está descrito no mesmo local a partir da referência [1].

A pesquisa em questão descrita aqui consistiu numa análise pela determinação diária no período considerado (mar/2012-mar/2013) do horário de início e de fim da superação do IUV 6 para todas as capitais brasileiras. O motivo para a escolha desse índice referencial está no modo como o IUV é tratado internacionalmente em termos do risco para a saúde humana, sobretudo da pele; na escala estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) [2] esse valor 6 é o ponto a partir do qual o IUV começa a ser perigoso, conforme resumido a seguir:

- baixo, faixa verde;
- moderado, faixa amarela;
- alto, faixa laranja;
- muito alto, faixa vermelha;

- extremo, faixa roxa.

O levantamento foi feito a partir dos gráficos diários (como o ilustrado na figura 1) exibidos ao final de cada dia no site do CPTEC/INPE, com a curva do IUV teórica prevista (baseada nos modelos descritos no link mencionado anteriormente) e a curva real, isto é, com os dados obtidos ao longo do período diurno naquela cidade, levando em consideração as condições climáticas do momento – nuvens, chuva, etc. Com base nesses gráficos, determinou-se o horário real local tanto do instante em que a curva superou o IUV 6 quanto para quando ela retornou abaixo desse índice diariamente.

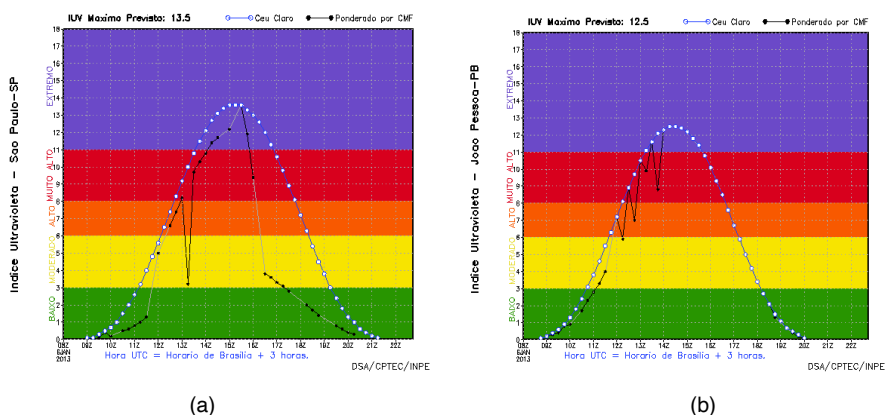



Figura 1 – Exemplo dos gráficos disponíveis em http://satelite.cptec.inpe.br/uv/ mostrando a evolução do IUV diário em cada capital brasileira. A linha pontilhada em branco corresponde ao valor hora a hora previsto no modelo para o IUV; a linha pontilhada em preto corresponde ao valor real medido em cada hora no local (que sofre influência das condições climáticas, como nuvens, chuva, fumaça, etc). Na referência vertical dos gráficos está marcado o valor do índice e as faixas de cores correspondentes, de acordo com a OMS. No eixo horizontal encontra-se o horário referência, dado em UTC (o horário referência de Greenwich), ou seja, para se saber o horário local, deve-se subtrair 3h do valor mostrado no gráfico (horário padrão de Brasília). O gráfico-exemplo em (a) refere-se à cidade de São Paulo (a de maior latitude no SE) e o mostrado em (b), à cidade de João Pessoa (a mais oriental, no NE), ambos obtidos no dia 06/01/2013.

Posteriormente, o conjunto das capitais brasileiras de Estados foi dividido de acordo com 7 faixas, em função de suas latitudes e longitudes médias. A tabela 1 a seguir explicita as faixas consideradas e as cidades que foram incluídas em cada uma delas tomando por base esses parâmetros geográficos:

FAIXA	CAPITAIS	Limites geográficos
1	Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba	Latitude > 24º S
2	São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Vitória	Latitudes entre 20º e 24º S
3	Goiânia, Brasília e Palmas	Latitudes entre 10º e 18º S e longitudes entre -40º e -50º
4	Campo Grande e Cuiabá	Latitudes entre 15º e 20º S e longitudes de -50º a -60º
5	Salvador, Aracaju, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal e Fortaleza	Latitudes entre 4º e 14º S e longitudes entre -34º e -40º
6	Teresina, São Luís, Belém e Macapá	Latitudes entre 0 e 5º S
7	Manaus, Boa Vista, Rio Branco e Porto Velho	Latitudes entre 2º N e 6º S e longitudes além de -60º

TABELA 1 – Faixas de agrupamento das capitais brasileiras para cálculo dos horários médios de superação de IUV6.

Note-se que essas faixas retratam parcialmente o que é estabelecido na geografia política do País como as Regiões (N, NE, CO, SE e S), pois as latitudes acabaram por aumentar a quantidade de regiões, ao subdividir algumas delas e/ou fundir com outras (caso das Faixas 5, 6 e 7, principalmente).

Além disso, foi feito o levantamento do IUV máximo real atingido diariamente em cada uma das capitais brasileiras, ou seja, o índice real diário, consideradas as condições climáticas (por exemplo: num dia que amanheceu ensolarado, o IUV pode ter subido até um determinado valor, porém, aquém do previsto porque ao longo do dia nuvens e/ou chuva acabaram reduzindo esse valor, assim como no caso de um dia que tenha permanecido chuvoso por todo o período diurno – v. exemplo dos gráficos ilustrativos na Figura 1). Para esses dados, foi, então, calculada a média desses IUV máximos tanto para todo o período de amostragem (fev/2012-mar/2013), como por trimestre.

A tabela 2 retrata esses levantamentos: a coluna "Média" apresenta o valor médio do maior IUV em cada cidade ao longo do período observacional (seguido do respectivo desvio-padrão na coluna seguinte); as colunas "Máximo" e "Mínimo" retratam o valor máximo e o valor mínimo entre os maiores IUV registrados no conjunto; e as colunas referentes à "Média por trimestre" mostram o valor médio calculado para o maior IUV diário naquelas cidades em 4 trimestres do período de registro – abril a junho, julho a setembro, outubro a dezembro e janeiro a março.

Cidade	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média por trimestre			
					Abr-jun	Jul-set	Out-dez	Jan-mar
Porto Alegre	9	3,21	12	2	5	5,5	10	9,5
Florianópolis	10,5	3,20	13	3	6	5,5	10,5	11
Curitiba	10	3,18	14	4	7	7,5	11	11,5
São Paulo	11	2,99	14	4	7	8	12	11,5
Rio de Janeiro	10,5	2,82	13	4	7,5	7,5	11,5	11,5
Belo Horizonte	9,5	2,76	14	4	8,5	8,5	13	12,5
Vitória	10,5	2,68	14	4	7,5	7,5	11,5	11,5
Campo Grande	11,5	2,86	14	5	8	9	12,5	12
Cuiabá	12	2,39	14	5	9,5	9,5	12	12,5
Goiânia	11,5	2,44	14	6	9,5	9	12,5	12,5
Brasília	12,5	2,45	14	5	9,5	10	13,5	13
Palmas	12,5	2,02	14	4	10	10	12,5	12,5
Salvador	12,5	2,10	14	6	9	9	12,5	12
Aracaju	12,5	1,98	14	8	10	10	11	12,5
Maceió	12,5	1,86	14	8	10	9,5	10,5	12,5
Recife	13	1,70	14	4	10,5	10	12	12,5
João Pessoa	13	1,59	14	9	10,5	10	11,5	12,5
Natal	13	1,62	14	9	11	10,5	12,5	13
Fortaleza	13	1,35	14	9	11	11	12	13
Teresina	13	1,63	14	7	11	11,5	12,5	13
São Luís	13	1,32	14	9	11,5	11	12,5	13
Belém	11,5	1,47	14	7	11,5	10	11	13
Macapá	11	1,47	14	8	11,5	10	12	13
Manaus	12	1,49	14	9	12	10	11,5	13,5
Boa Vista	13,5	1,40	14	6	12	11,5	10	13,5
Rio Branco	12,5	1,97	14	7	10,5	10,5	12,5	13,5
Porto Velho	12,5	1,81	14	8	10,5	10	12	13,5

TABELA 2 – Média e valores máximo e mínimo do maior IUV registrado diariamente nas capitais brasileiras entre fev/2012 e mar/2013.

Em seguida, apresenta-se uma tabela-resumo de alguns dados relatados acima, indicando o IUV médio nas 27 capitais para estação climática do ano (conforme a denominação popular):

Cidade	Média por trimestre			
	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Aracaju	10	10	11	12,5
Belém	11,5	10	11	13
Belo Horizonte	8,5	8,5	13	12,5
Boa Vista	12	11,5	10	13,5
Brasília	9,5	10	13,5	13
Campo Grande	8	9	12,5	12
Cuiabá	9,5	9,5	12	12,5
Curitiba	7	7,5	11	11,5
Florianópolis	6	5,5	10,5	11
Fortaleza	11	11	12	13
Goiânia	9,5	9	12,5	12,5
João Pessoa	10,5	10	11,5	12,5
Macapá	11,5	10	12	13
Maceió	10	9,5	10,5	12,5
Manaus	12	10	11,5	13,5
Natal	11	10,5	12,5	13
Palmas	10	10	12,5	12,5
Porto Alegre	5	5,5	10	9,5
Porto Velho	10,5	10	12	13,5
Recife	10,5	10	12	12,5
Rio Branco	10,5	10,5	12,5	13,5
Rio de Janeiro	7,5	7,5	11,5	11,5
Salvador	9	9	12,5	12
São Luís	11,5	11	12,5	13
São Paulo	7	8	12	11,5
Teresina	11	11,5	12,5	13
Vitória	7,5	7,5	11,5	11,5

TABELA 3 – Média do IUV nas capitais brasileiras (agora listadas em ordem alfabética) nas estações clássicas (dados obtidos diariamente entre fev/2012 e mar/2013).

Algumas observações interessantes que podem ser consideradas a partir dos dados da Tabela 2:

- Porto Alegre (a capital mais ao sul no País) tem a menor média de maiores IUV diários (9,5), mas o maior desvio-padrão (± 3,21) entre todas as capitais consideradas; na prática, esse valor indica que a variação média do pico de IUV nessa cidade foi de pouco mais de 6 a quase 13 ao longo dos 13 meses da pesquisa; destaque-se que a média de IUV no período de seis meses (abr-set) para essa capital ficou abaixo de 6, considerado o limite para risco à saúde; o

mesmo vale para Florianópolis, cujo desvio-padrão relativo aos valores de pico do IUV diário é praticamente o mesmo de Porto Alegre (± 3,20), mostrando também uma variação semelhante (de 7 a 14);

- ainda em termos dos resultados para o desvio-padrão, observa-se que o menor foi registrado para São Luís no Maranhão (± 1,32), seguido de Boa Vista, em Roraima, uma das cidades do grupo mais próximas da linha do equador (junto com Macapá, cortada por essa linha), com ± 1,40; com uma média do pico de IUV em 13 para S. Luís, e 13,5 para Boa Vista, isso significa que o maior valor desse índice nessas cidades no período de 13 meses considerado ficou aproximadamente entre 12 e 14, chegando até 15 no segundo caso, extremamente alto sempre;

- se considerarmos os limites convencionais de estações do ano populares – que, de certo modo, estão representados nos meses correspondentes aos 4 trimestres mostrados na Tabela 2 (outono, inverno, primavera e verão, da 6ª. até a 9ª. coluna, respectivamente) – observamos que os IUV médios no verão são maiores, como esperado, nas capitais do N e NE do País, porém, apenas um ou dois pontos acima dos valores registrados nas capitais mais ao sul; e ainda assim, todos eles (exceto Porto Alegre) registrando valores acima de 11, considerado o limite da faixa denominada "índice extremo" pela OMS, e, portanto, de alto risco à saúde;

- ainda nesse contexto, pode-se notar que o último trimestre do ano (que teria correspondência com a primavera brasileira), mesmo em latitudes maiores, isto é, mais ao sul do País, o pico do IUV na média é sempre muito alto, praticamente na faixa roxa; como esperado, para as capitais de menor latitude (mais ao norte e mais próximas à linha do equador), esses valores de pico continuam sendo muito altos, dentro dessa mesma faixa roxa (índice extremo) ao longo dos demais trimestres, ou seja, ao longo de todo o ano, independentemente da estação climática; no entanto, cabe observar desses dados também que, para as capitais e regiões de nível da latitude, por exemplo, de Campo Grande para o sul, os valores de pico diários nos outros 6 meses do ano são muito menores em comparação com as regiões de latitudes de Goiânia e Brasília para o norte, sendo que, como será mostrado mais adiante, há diversos meses, entre abril e agosto, principalmente, em que o IUV é menor que 7;

- esses resultados são bem demonstrativos do efeito que a latitude tem na variabilidade do IUV, que pode ficar abaixo de um valor de risco por vários meses, para regiões de maior latitude, e se manter extremamente alto, e com pouca variação, para regiões de menor latitude.

Tomando agora como referência os dados por hora diária, diversas tabelas foram determinadas com base nos dados obtidos diariamente para cada uma das 27 capitais,

registrando, sobretudo o horário real local em que o IUV superou o nível 6 e quando retornou abaixo dele. As próximas tabelas, portanto, procuram sintetizar os valores médios e limites diários, tomando por base as medidas reais (que levam em conta as condições climáticas em cada dia) dos horários em que cada uma dessas capitais ficou sujeita a índices maiores que 6, o limite que separa as faixas de IUV de menor risco das de maior (amarela para vermelha, no exemplo da Figura 1). Essas tabelas determinam, essencialmente:

1. A média do horário de início e fim da superação do IUV 6 para todas as capitais entre fev/2012 e mar/2013;

2. A média do horário de início e fim da superação do IUV 6 por faixa (região) de cidades descrita na Tabela 1;

3. A média do horário de início e fim da superação do IUV 6 bimestralmente para todas as capitais no período e também por faixa;

4. Os maiores intervalos de duração do IUV > 6 por bimestre e por cidade (através da indicação do horário mais cedo de início da superação do índice e do final mais tardio).

Faixa	**Cidade**	**IUV maior que 6**	
		Horário de início	**Horário de fim**
1	Porto Alegre	*10h36*	*14h12*
	Florianópolis	*10h18*	*13h48*
	Curitiba	*10h18*	*14h00*
2	São Paulo	*10h12*	*13h36*
	Rio de Janeiro	*10h00*	*13h42*
	Belo Horizonte	*10h06*	*13h36*
	Vitória	*10h12*	*13h24*
3	Goiânia	*10h24*	*14h00*
	Brasília	*10h18*	*13h54*
	Palmas	*10h00*	*14h12*
4	Campo Grande	*9h42*	*13h18*
	Cuiabá	*9h48*	*13h36*
5	Salvador	*9h42*	*13h24*
	Aracaju	*9h30*	*13h36*
	Maceió	*9h24*	*13h24*
	Recife	*9h24*	*13h24*
	João Pessoa	*9h18*	*13h24*
	Natal	*9h18*	*13h24*
	Fortaleza	*9h24*	*13h48*

6	Teresina	*9h36*	*14h06*
	São Luís	*9h48*	*14h12*
	Belém	*10h06*	*14h12*
	Macapá	*10h12*	*14h12*
7	Manaus	*9h54*	*13h48*
	Boa Vista	*9h54*	*14h12*
	Rio Branco	*10h24*	*14h18*
	Porto Velho	*10h18*	*14h12*

TABELA 4 – Horário médio, calculado pelos dados obtidos entre fev/2012 e mar/2013, do momento em que IUV fica maior que 6 ("Início") e em que volta abaixo desse valor ("Fim"), indicando, portanto, o período diário de risco maior em relação à incidência UV. Capitais brasileiras distribuídas nas 7 faixas descritas na Tabela 1.

	Faixas						
	1*	**2#**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Horário de início	*10h24*	*10h00*	*10h12*	*9h42*	*9h24*	*9h54*	*10h06*
Horário de fim	*14h00*	*13h42*	*14h00*	*13h30*	*13h30*	*14h12*	*14h06*

* entre maio e agosto: sem superar o IUV 6.

entre maio e julho: sem superar o IUV 6 (agosto entrou no cálculo da média).

TABELA 5 – Horário médio, calculado pelos dados obtidos entre fev/2012 e mar/2013, do momento em que IUV fica maior que 6 ("Início") e em que volta abaixo desse valor ("Fim"), indicando, portanto, o período diário de risco maior em relação à incidência UV. Médias calculadas para cada uma das 7 faixas relativas às regiões descritas na Tabela 1.

	Mar-Abr/2012		**Mai-Jun**		**Jul-Ago**		**Set-Out**		**Nov-Dez**		**Jan-Fev/2013**	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
POA	11,3	14,0					10,6	13,8	10,3	14,8	10,3	14,3
FLO	11,1	13,3					10,7	13,3	9,2	14,7	10,2	14,1
CUR	11	13,5			*11,2*	*13*	10,3	13,7	9,7	14,3	10,3	14,3
SP	10,6	13,5			*10,9*	*13,3*	9,8	13,7	9,5	14,0	10,3	13,6
RJ	10,4	13,3			*10,8*	*13*	9,8	13,6	9,0	14,4	10,1	14,2
BH	10,4	13,5	*10,9*	*12,5*	10,7	13,1	9,3	13,9	9,5	14,0	9,8	14,4
VIT	10,1	13,5	*11,7*	*12,4*	11,2	12,6	9,5	13,4	9,3	13,9	9,5	14,3
GOI	10,4	14,1	11,2	13	10,9	13,7	9,5	14,5	9,6	14,4	10,6	14
BRA	9,9	14,1	11	13,1	10,8	13,6	9,4	14,3	9,4	14,0	11,2	14
PAL	9,8	13,8	10,6	13,5	10,3	14,1	9,3	14,5	9,6	14,5	10,1	14,5
CG	9,8	13,4	*10,6*	*12,6*	10,3	12,8	9,3	13,5	8,8	13,7	9,1	13,9
CUI	10	13,7	10,7	12,5	10,2	13,5	9,1	13,8	9,1	14,0	9,1	14,2
SAL	9,8	13,6	10,5	12,6	10,5	12,9	9,1	13,6	8,9	14,0	9,2	13,9
ARA	9,4	13,8	10,5	12,7	10,3	13,1	9,1	13,7	8,7	14,0	8,9	14,1

MAC	9,2	13,6	10,1	12,6	10	12,8	8,9	13,5	8,8	13,9	9,5	14,1
REC	9,3	13,5	10,2	12,5	9,8	13	9	13,4	8,9	13,7	9,2	14
JP	9,3	13,6	9,8	12,6	9,9	13	8,9	13,6	8,8	13,7	9	13,9
NAT	9,3	13,7	9,7	12,6	9,8	12,9	8,9	13,7	8,8	13,7	9	13,9
FOR	9,8	14	9,9	13,4	9,6	13,7	9	14	9,1	13,8	9,1	14
TER	9,7	14	10,1	13,6	9,9	14	9	14,4	9,2	14,1	9,4	14,3
SL	9,8	14	10,1	13,7	10,1	14	9,4	14,5	9,6	14,3	10	14,7
BEL	9,9	14,3	10,4	14,1	10,4	14,1	9,6	14,4	9,9	14,0	10,4	14,2
MCP	10,4	14	10,4	14,1	10,5	14,4	9,7	14,6	10,1	14,3	10,1	13,8
MAN	10	14	10,4	13,4	10,1	13,7	9,3	14,1	9,7	13,7	10,1	13,8
BV	10	14,2	10,3	13,9	10,1	14,2	9,2	14,4	9,9	13,8	10	14,4
RB	10,3	14,5	10,9	13,3	10,6	14,1	9,9	14,6	10,5	14,3	10,2	14,9
PV	10,2	14,3	10,7	13,2	10,2	14,1	9,5	14,4	10,3	14,2	11	14,7

Média de apenas 4 ou 5 dias (começo de maio ou agosto)

Média relativa apenas a dados do mês de agosto

TABELA 6 - Horário médio do momento em que IUV fica maior que 6 (“Início”) e em que volta abaixo desse valor (“Fim”) bimestralmente para cada capital brasileira (entre mar/2012 e fev/2013), indicando, portanto, o período diário de risco maior em relação à incidência UV. (OBS.: os valores estão apesentados em números decimais das horas de modo que cada 0,1 corresponde a 6 minutos; ou seja, o dado 13,5 corresponde às 13h30, o valor 9,8 refere-se a 9h48, e assim por diante).

	Mar-Abr/2012		Mai-Jun		Jul-Ago		Set-Out		Nov-Dez		Jan-Fev/2013	
	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
POA	10,5	14,5					9,5	14,5	9,5	15,5	9,0	15,5
FLO	10	14,5					9	15	9,0	15,0	9,5	15,5
CUR	10	15					9	15	9,0	15,5	9,5	15,5
SP	9	14,5			*10*	*14*	9	15	9,0	15,0	9,5	15
RJ	9,5	14,5			10,5	13,5	9	14,5	8,5	15,0	9	15
BH	9,5	14			10	14	8,5	14,5	8,5	15,0	9	15
VIT	9,5	14			10	13,5	8,5	14	8,5	15,0	9	15
GOI	9,5	15	10,5	14	10	14,5	9	15	9,0	15,5	9,5	15,5
BRA	9,5	15	10	14	10	14,5	9	15	9	15	9,5	15
PAL	9,5	15	10	14	9,5	15	9	15	9	15	9,5	15,5
CG	9	14	*10,5*	*13*	9,5	13,5	8,5	14,5	8,5	15	8,5	15
CUI	9	14,5	10	13,5	9,5	14	8,5	14,5	8,5	14,5	9	15
SAL	9	14,5	9,5	13,5	9	14	8,5	14	8,5	14,5	9	14,5
ARA	9	14	9,5	13,5	9	13,5	8,5	14	8,5	14,5	8,5	14,5
MAC	9	14	9	13,5	9	14	8	14	8,5	14	8,5	14,5

REC	9	14	9	13,5	9,5	14	8	14	8,5	14	8,5	14,5
JP	9	14	9	13,5	9	14	8	14	8,5	14	8,5	14
NAT	8,5	14	9	13,5	9	14	8	14	8,5	14	8,5	14,5
FOR	9	14,5	9	14	9	14	8,5	14	8,5	14	9	14,5
TER	9	14,5	9,5	14	9	14,5	8,5	14,5	8,5	14,5	9	15
SL	9	15	9,5	14,5	9,5	14,5	9	14,5	9	14,5	9	15
BEL	9,5	15	9,5	14,5	9,5	15	9	15	9	14,5	10	15
MCP	9,5	15	10	15	9,5	15	9,5	15	9,5	15	9	15
MAN	9,5	15	9,5	15	9,5	14,5	9	15	9	14,5	9	15
BV	9,5	15	9,5	14,5	9,5	15	9	15	9	14,5	9	15
RB	9,5	15,5	10	14,5	10	15	9,5	15	9,5	15,5	9,5	15,5
PV	9,5	15	9,5	14,5	9,5	15	9	15	9	15	9,5	15,5

Média de apenas 4 ou 5 dias (começo de maio ou agosto)

Média relativa apenas a dados do mês de agosto

TABELA 7 – Horário mais cedo (“Menor”) e o mais tardio (“Maior”) em que IUV fica maior que 6 bimestralmente registrado para cada capital brasileira (entre mar/2012 e fev/2013). Esses horários foram registrados considerando o maior intervalo (início mais cedo – fim mais tarde) em que o IUV ficou acima de 6 para cada cidade nos bimestres indicados na tabela. (OBS.: como na tabela 6 anterior, os valores estão novamente apresentados em números decimais das horas de modo que cada 0,1 corresponde a 6 minutos).

Em relação a esses dados apresentados nas Tabela de 4 a 7, e também observando-se os gráficos diários relativos a todas as capitais, podem-se depreender os seguintes aspectos:

a. Porto Alegre e Florianópolis (e as respectivas regiões dos dois Estados mais ao sul do país, por extensão) **não** registram IUV maior que 6 basicamente entre 21/04 e 25/08; o mesmo acontece com Curitiba e região, entre final de abril e meados de agosto;

b. Esse também é o resultado para as regiões de São Paulo e Rio de Janeiro, incluindo o sul de Minas Gerais, para o período que vai do início de maio ao final de julho; em termos do restante da região Sudeste, o período de IUV menor que 6 restringe-se ao período entre meados de maio e final de junho para as áreas de Belo Horizonte e Vitória;

c. Esses resultados são consistentes com os processos de inclinação terrestre relativos aos solstícios e equinócios: se as 4 “estações” do ano fossem igualmente em termos de quantidade de dias (ou seja, aproximadamente 90), e considerando o nosso solstício de inverno como em torno de 21/06, observa-se que o IUV<6 para as capitais de maior latitude (Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba)

ocorre com pouco mais de 45 dias antes do solstício até pouco mais de 45 dias depois, caracterizando o nosso *inverno real*; o mesmo ocorre para São Paulo e Rio de Janeiro, principalmente, e Belo Horizonte e Vitória, que, na maior parte desse período de "*inverno real*" não apresentam superação do IUV 6;

d. Outra observação que corrobora a dedução acima é que, para Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, o índice mais alto (em torno de 14) é atingido ao longo de dezembro até começo de janeiro; em fevereiro, por exemplo, não supera 12 (inclusive, em Porto Alegre fica abaixo de 11, não atingindo a faixa roxa nesse mês); isso é consistente com a interpretação de que os solstícios e equinócios marcam, na verdade, não o início, mas o **auge** da correspondente estação climática.

e. Os dados de horários médios de início e fim da superação do IUV 6 nas capitais brasileiras também são importantes para efeito de conhecimento da faixa do dia nessas regiões em que uma maior proteção passa a ser necessária para aqueles que estão expostos ao sol; a Tabela 6 é mais detalhada nesse aspecto, mas apenas considerando as médias mais gerais mostradas na Tabela 4, por exemplo, é possível reconhecer que os períodos diários em que o índice merece uma atenção maior é um tanto diferente do que muitas campanhas costumam elaborar para indicar a necessidade de protetor solar, ou outros tipos de recursos (como chapéu, ou ficar à sombra, etc); uma comparação ilustrativa: enquanto para a região da Faixa 1 o IUV é maior que 6 em média entre 10h15 e14h00, nas cidades da Faixa 5 (todas do litoral do NE), esse período inicia bem mais cedo, por volta de 9h25, mas termina também cerca de meia hora antes (por volta de 13h30); obviamente, a relativa diferença de longitude entre cidades da Faixa 1 e João Pessoa, Recife e Natal, por exemplo, também tem um efeito razoável sobre esse dado em função de, na prática e apesar disso, todas estarem sujeitas ao mesmo fuso horário oficial;

f. Esses mesmos dados relativos ao horário de início e de final diários em que o IUV supera 6 permitem retratar as diferenças de comportamento ao longo de períodos específicos, como apresentados nos valores da Tabela 5, se tomados pelas Faixas ou regiões de capitais definidas no início; nesse caso, vemos os seguintes resultados (Tabela 8) tomados em conjunto para as médias de horário de início e fim da superação do nível 6 para o IUV por região:

	Mar-Abr/2012		Mai-Jun		Jul-Ago		Set-Out		Nov-Dez		Jan-Fev/2013	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Faixa 1	11,1	13,6					10,5	13,6	9,7	14,6	10,2	14,2
Faixa 2	10,4	13,5			10,9	13	9,6	13,6	9,3	14,1	9,9	14,1
Faixa 3	10	14	10,9	13,2	10,7	13,8	9,4	14,5	9,5	14,3	10,6	14,2
Faixa 4	9,9	13,6	10,6	12,6	10,2	13,2	9,2	13,7	9	13,9	9,3	14,1
Faixa 5	9,4	13,7	10,1	12,7	10	13	9	13,6	8,9	13,8	9,1	14
Faixa 6	9,9	14,1	10,2	13,9	10,2	14,1	9,4	14,5	9,7	14,2	10	14,3
Faixa 7	10,1	14,3	10,6	13,5	10,2	14	9,5	14,4	10,1	14	10,3	14,5

TABELA 8 - Horário médio do momento em que IUV fica maior que 6 (“Início”) e em que volta abaixo desse valor (“Fim”) bimestralmente (entre mar/2012 e fev/2013), para cada faixa de cidades, conforme definição na Tabela 1 indicando, portanto, o período diário médio de risco maior em relação à incidência UV. (OBS.: como na tabela 5 e 6, os valores estão novamente apresentados em números decimais das horas de modo que cada 0,1 corresponde a 6 minutos).

Novamente como se observava dos dados mais específicos para cada cidade na Tabela 6, esses valores denotam o período diário em que o IUV está num nível considerado alto (e, portanto, de maior risco à saúde) para essas regiões ao longo do ano. Se calcularmos as diferenças entre os horários das colunas “início” e “fim” para cada bimestre, veremos um resultado condizente com aquilo que foi comentado antes: é bem perceptível que o bimestre Novembro/Dezembro corresponde ao período de maior tempo de permanência do IUV acima do limite 6 – basicamente algo muito próximo de 5h de duração ao longo do dia, exceto para a faixa 7 (com uma hora a menos nesse caso). Já o bimestre Maio/Junho é o que apresenta o período de menor tempo de permanência do IUV acima daquele limite – em média, 2h30 –, isso para as faixas de cidades em que ele supera em algum momento do dia o valor 6 (note-se que as Faixas 1 e 2 não apresentam dados, pois o IUV fica abaixo desse valor constantemente nessa época naquelas regiões.

Esse resultado corrobora os comentários anteriores quanto à época do ano em que há necessidade de maior precaução com a incidência de radiação UV, ou seja, mais nos meses próximos a dezembro (mais genericamente entre novembro e janeiro) do que no período considerado popularmente como verão, pois, de fato, esses números retratam a maior incidência solar nas semanas imediatamente anteriores e posteriores ao solstício (que ocorre em torno de 21/12). De fato, mesmo que algumas capitais apresentem também índices altos e por quase 5h durante o primeiro bimestre do ano, esse dado é mais restrito às das faixas 4 e 5 (que engloba Cuiabá e as capitais situadas no litoral do NE).

E uma última observação em relação a esse aspecto é que, se observarmos os dados para a faixa 6 – que envolve as regiões onde se situam Teresina, São Luís, Belém e

Macapá (todas no limite ou mesmo cortada pela linha do equador, como a última) – veremos que as variações tanto dos horários de superação do IUV 6 são bastante uniformes ao longo do ano (entre 4h e 4h30), e com alguns dos menores desvios-padrões no cálculo da média anual do pico de IUV (curiosamente, para Belém e Macapá, essa média está em torno de 11, enquanto Teresina e São Luís apresentam médias anuais do nível das capitais nordestinas, conforme Tabela 2).

REFERÊNCIAS

1. CEBALLOS, J. C.; RODRIGUES, M. L. Estimativa de insolação mediante satélite geostacionário: resultados preliminares. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.

2. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) et al. Global solar UV index: a practical guide. [s.l] WHO, 1995.

CAPÍTULO 6

ARMAÇÃO PARA ÓCULOS DE PROTEÇÃO SOLAR: O OLHAR INDUSTRIAL

José de Anchieta da Costa Aguiar Toschi

INTRODUÇÃO

Óculos de sol são EPIs para o cidadão que se expõe cotidianamente à radiação solar[1]. Sua armação mantém em posição fixa lentes que impedirão completa ou parcialmente a ação dos comprimentos de onda da radiação solar nocivos aos globos oculares e às pálpebras. Ao realizarem essas funções os óculos de sol não podem causar qualquer distúrbio à visão de quem os utiliza e, também, é fundamental que tenham durabilidade, qualidade, *design* e que sejam esteticamente atraentes e satisfaçam o desejo de consumo.

Essencialmente falando, os óculos de proteção solar de uso geral são constituídos por uma moldura frontal, onde estão fixadas lentes planas (zero dioptrias, popularmente chamadas de "sem grau"), que atuam como filtros tanto de corte como de atenuação, e por um par de hastes que é o principal meio de posicionamento estável da armação no rosto de quem utiliza essa armação. Juntos, frontal e hastes, formam a armação, e com as lentes formam os óculos de sol [1,2].

As armações dos óculos de sol podem ser produzidas em metal [3], em polímeros sintéticos (obtidos de fontes naturais ou artificiais), reforçados ou não, em madeiras, em bambu ou em combinações de quaisquer desses grupos de materiais.

Por terem que apresentar características ópticas específicas as lentes têm diversas restrições quanto a seus materiais de fabricação. Um critério importante na seleção do material de fabricação das lentes é sua compatibilidade tanto química quanto física com o material de fabricação dos aros, com os quais as lentes manterão contato por tempo indeterminado.

PROJETO DA ARMAÇÃO

A projeto da armação dos óculos de sol, vide figura 1, é realizado por meio de *softwares* de CAD/CAM[1] e se fundamenta em análises das tendências de estilo, comparecimento a feiras e exposições internacionais, visitas a fornecedores e pesquisas de mercado, fatores

1 CAD, em Inglês, significa Computer-Aided Design – Projeto Assistido por Computador – e CAM, em inglês, significa Computer-Aided Manufacturing – Fabricação Assistida por Computador.

que, juntos, norteiam a decisão das formas, dimensões gerais e os materiais de fabricação das armações que irão compor uma coleção.

Um departamento de pesquisa e desenvolvimento de óculos de sol trabalha incessantemente contra o relógio. Para que se faça uma ideia, uma empresa nacional de pequeno/médio porte, que queira se manter bem posicionada no mercado, precisa lançar cerca de 50 modelos novos a cada ano, o que dá uma média de um modelo novo por semana. Mas o trabalho da equipe não se limita ao projeto das armações, inclui, também, o desenvolvimento de novas cores de armação e de lentes e a criação de embalagens, o que demanda semanas de trabalho contínuo.

O "sourcing" (aprovisionamento) de insumos ocorre paralelamente ao avanço do projeto e pode incluir a aquisição de componentes fabricados no estrangeiro. Ao todo, o lançamento de uma nova coleção pode significar ter que administrar aproximadamente 2.000 componentes, desde diminutos parafusos (4) a metais nobres para acabamento de armações.

Figura 1: Imagem de projeto computadorizado de óculos de proteção solar. As cores do desenho definem as etapas de produção e não são as cores do produto acabado. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies LTDA.

As particularidades das dimensões de cada um dos componentes da armação são estabelecidas com base em informações extraídas de bancos de dados do próprio fabricante, onde estão armazenados registros referentes aos biótipos craniofaciais da média da população brasileira.

O projeto define detalhadamente a armação e concebe todo o ferramental que irá produzi-la. A figura 2 ilustra uma planilha de projeto de óculos de sol.

Figura 2: Ficha de produção de armação para óculos de proteção solar. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

A PRODUÇÃO DA ARMAÇÃO

Assim que o projeto é aprovado pela equipe da fábrica, o processo de produção se inicia e o molde para injeção é construído em aço, mas composição desse aço depende do material a ser injetado. Dependendo da composição e da temperatura de injeção (que pode atingir até cerca de 260 °C), alguns polímeros apresentam tendência a serem corrosivos. Os moldes são geralmente feitos ou na Itália ou na China. O molde, ao passar pela alfândega brasileira, paga praticamente 100% de seu valor em tributos e taxas (Imposto de Importação, PIS, COFINS, IPI, ICMS e etc.). Para cada par de óculos são feitos 2 moldes: um para o frontal e outro para as hastes. Cada um deles pode pesar o equivalente

de 35 a 50 kg. Apesar de bastante pesados, os moldes são trazidos por via aérea, e seu preço posto na fábrica é de USD 12.000,00 por parte, em média. Total do preço do molde, USD 24.000,00. O preço depende da complexidade de construção e do tamanho e do peso do molde. Apesar de haver tecnologia no Brasil para confeccionar os moldes, os fabricantes alegam que demoram muito mais tempo para ficarem prontos e custam mais caro. Na China, por exemplo, entre a encomenda de um par de moldes e o recebimento dos mesmos, passam-se cerca de 30 dias.

A figura 3 ilustra a quantidade dos diferentes moldes que uma empresa de pequeno/ médio porte deve ter para produção.

Figura 3: Estante com diversos moldes para injeção de componentes da armação. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

A figura 4 ilustra a máquina de operação para injeção dos óculos no molde.

Figura 4: Máquina injetora para moldagem por injeção. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

O material das armações é uma poliamida para moldagem por injeção. A figura 5 ilustra um polímero granulado a ser colocado na máquina.

Figura 5: Poliamida granulada para injeção, na forma octaedros irregulares cuja maior dimensão está ao redor de 3 mm. São comumente chamados de “pellets”.

Para se ter uma ideia, são utilizados de 15 g a 42 g de polímero granulado, dependendo do modelo, por armação de óculos. Está incluída nessa massa a quantidade de polímero que não compõe diretamente a armação e que é comumente chamada de “galho” ou de “árvore” ou, ainda, de “esqueleto”.

O custo de um polímero como esse gira em torno de EUR 26,00/kg. A título de comparação 1 kg de resina de polipropileno para injeção custa cerca de EUR 1,22.

A figura 6 ilustra a haste injetada na “árvore”.

Figura 6: A haste injetada na “árvore”.

A figura 7 ilustra o molde para injeção em operação.

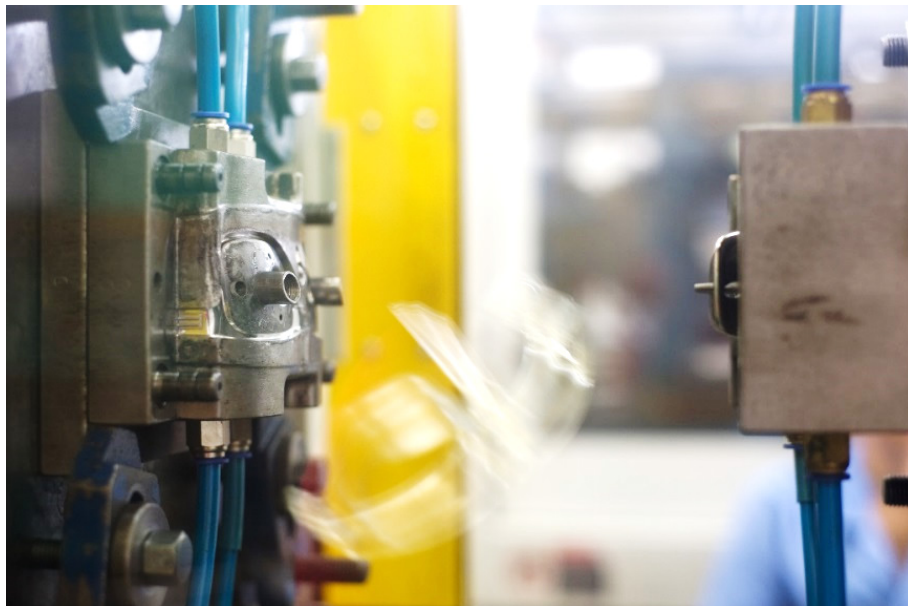



Figura 7: Molde para injeção em operação. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

A figura 8 ilustra os moldes da parte frontal injetados.

Figura 8: Frontais injetados. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

A FINALIZAÇÃO DA ARMAÇÃO

É feito o acabamento superficial de componentes da armação por desbaste em vibradores circulares (figura 9). O abrasivo normalmente utilizado é o pó de quartzo (*mesh* 600 μm) tendo como elemento ligante a resina poliéster. Uma pastilha abrasiva como essa é chamada de “chip”. Existem chips nas mais variada formas e dimensões, que variam de acordo com o tipo de desgaste que se pretenda.

Figura 9: Acabamento superficial de componentes da armação por desbaste em vibradores circulares. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

Então, é realizado o corte para execução do ângulo pantoscópico (figura 10). O ângulo pantoscópico pode variar de 6° a 9°. O ângulo pantoscópico permite que o olho

focalize tanto para objetos distantes como para o próximo, devido a sua inclinação. Este ângulo se torna bastante importante para o uso de lentes monofocais, em óculos de grau.

Para os óculos de sol, imagine que se o frontal e as hastes formassem um ângulo reto e, se o usuário olhasse para o horizonte visual, a distância da pupila até a lente seria uma, mas se o usuário, apenas movendo os olhos, olhasse para o solo, essa distância seria outra. O ângulo pantoscópico visa corrigir essa variação. A armação sai de fábrica com um ângulo pantoscópico concebido para que os ajustes finais na casa de ótica, com a armação colocada no rosto do usuário, sejam os menores possíveis.

No processo de produção, há que ser feito um corte no talão do frontal e outro nas extremidades temporais das hastes para que esses componentes quando forem posteriormente fixados juntos formem juntos o ângulo pantoscópico. Ou seja, um corte com certo grau de dificuldade de ser feito, já que os componentes da armação (frontal/haste) não estão montados juntos.

Figura 10: Corte para execução do ângulo pantoscópico. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

As charneiras, "dobradiças" que unem as hastes aos aros da armação, são inseridas termicamente, a uma temperatura de 180 °C para a poliamida. A temperatura varia para cada tipo de material utilizado na armação. A figura 11 mostra uma foto deste procedimento.

Figura 11: Inserção térmica das charneiras. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

Finalmente os óculos são coloridos pelo processo de pintura de pulverização. A figura 12 mostra uma foto deste procedimento.

Figura 12: Processo de pintura por pulverização. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

Assim, o processo de fabricação das armações dos óculos está acabado. Então, procede-se com a fabricação das lentes, cortes e encaixes nas armações, para então serem embaladas e distribuídas ao comércio.

A figura 13 ilustra o processo de fresagem computadorizada das lentes.

Figura 13: Sistema de fresagem computadorizada de lentes. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

As lentes dos óculos de sol não devem ter grau, então são testadas para verificar se não há dioptria esférica ou prismática associada a lentes, pós fabricação.

A figura 14 ilustra o equipamento que realiza as medidas para verificar o poder de refração e poder prismático da lente, bem como a transmissão da luz visível nas lentes e da luz ultravioleta [1,5].

Figura 14: Lensômetro de linha de produção industrial. Imagem gentilmente cedida pela Suntech Supplies Ltda.

REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR ISO 12312-1:2018 Proteção dos olhos e do rosto – Óculos para proteção solar e óculos relacionados Parte 1: Óculos para proteção solar para uso geral, 2018.

2. ABNT NBR 16180:2013 Óptica oftálmica – Armações e óculos solares – Fluxograma do processo produtivo básico, 2013.

3. ABNT ISO/TS 24348:2020 Óptica oftálmica – Armações para óculos – Método para a simulação de desgaste e detecção de liberação de níquel em armações para óculos em metal e combinadas, 2020.

4. ABNT NBR ISO 11381:2018 Óptica oftálmica – Armações para óculos – Roscas para parafusos, 2018.

5. ABNT NBR ISO 12311:2018 Proteção dos olhos e do rosto – Métodos de ensaio para óculos para proteção solar e óculos relacionados, 2018.

CAPÍTULO 7

FILTROS ÓPTICOS – UM OLHAR TÉCNICO

Patrícia Fichtner Milan Rödel

INTRODUÇÃO

Os óculos com lentes coloridas podem ser tanto filtros solares como filtros de ação em espectros específicos.

Os filtros solares se apresentam como lentes com ou sem grau, que tem por função reduzir a intensidade da luz visível através da coloração e ainda absorver a radiação UVA e UVB.[1]

Além das lentes coloridas também é possível obter filtros solares com lentes fotocromáticas[2], geralmente associados a lentes de grau.

Quanto a proteção UV é importante salientar que a cor não está relacionada a esse processo, sendo assim podemos ter lentes incolores com essa proteção ou mesmo lentes escuras que não protegem da radiação UV[3].

Nos casos de filtros específicos, sua funcionalidade é de aumentar o conforto em situações adversas, agindo como filtro ou até bloqueador de tipos ou comprimentos de onda do espectro visível, porém também podem proteger da radiação UV. Os filtros de absorção seletiva estão representados pelos filtros medicinais e pelos filtros ocupacionais, distribuídos entre as lentes polarizadas, *night drive* e filtro da luz azul.

FILTROS SOLARES

Os filtros solares de lentes coloridas são considerados filtros de transmissão fixa, pois sua coloração não sofre variação.[1]

MATERIAL DAS LENTES

De acordo com o tipo de materiais das lentes podemos classifica-las em lentes orgânicas e inorgânicas.

O tipo de lente utilizada pelo fabricante leva em conta o perfil do seu público e o objetivo da utilização dos óculos de sol, pois cada material das lentes tem características próprias que traduzem algum benefício ou até mesmo contraindicação.

A maioria das lentes para óculos de sol são confeccionados com lentes coloridas de

material orgânico da família dos plásticos e, com pouquíssima expressividade, encontra-se o material inorgânico – vidro.[1]

Os materiais utilizados pela indústria óptica requerem muita pesquisa e investimento financeiro, por isso suas fórmulas são patenteadas, dificultando assim informações detalhadas das mesmas, porém as lentes tem em sua composição química materiais com conhecidas propriedades físicas e químicas, independente de suas especificidades e através delas que desenvolveremos as definições.[4]

LENTES ORGÂNICAS

As lentes orgânicas são formadas a partir de unidades químicas simples (monômeros) e repetitivas, formando longas cadeias poliméricas. Os polímeros utilizados na indústria óptica para confecção de lentes são da família dos plásticos, podendo ser polímeros termofixos ou termoplásticos[5], mas comercialmente são denominadas por resinas e muitas delas são conhecidas pela designação do seu índice de refração, como 1.56, por exemplo.[6]

As resinas apresentam maior resistência quanto ao impacto do que as lentes minerais, porém arranham com maior facilidade, mas como forma de minimizar esse problema utiliza-se o recurso de aplicar tratamento antiabrasivo sobre a superfície, assim como verniz protetor.[7]

O tratamento antiabrasivo é aplicado com materiais inorgânicos, que irão proporcionar maior resistência ao risco e, juntamente irá se somar os materiais orgânicos, para proporcionar maior adesão e durabilidade ao tratamento. A aplicação pode ser feita por imersão (*dip coating*) ou por centrifugação (*spin coating*), finalizando o processo de endurecimento da camada de cobertura pela utilização da radiação UV ou térmica, de acordo com o substrato da lente.[1]

O termo antiabrasivo tem sido adotado de forma comercial no lugar de antirrisco, pois esse último levava o cliente a considerar que sua lente estava livre de sofrer arranhões, fato que verdadeiramente não ocorre, pois se o risco ultrapassar essa camada irá atingir o plástico e aparentar o risco.[6]

Esse tipo de lente apresenta na sua composição benzofenonas, que atribuem a esse material, parcialmente ou até totalmente, a proteção contra os raios UVA e UVB.[3,8]

DIETILENO GLICOL-BIS-CARBONATO DE ALILA (CR-39)

Polímero plástico termorrígido, da abreviatura “Columbia Resin 39”, desenvolvido nos Estados Unidos no ano de 1940 é até hoje a lente mais popular dentre as lentes oftálmicas incolores. O sistema de coloração de lentes foi desenvolvido baseado nesse tipo de material.[6] Fabricantes de óculos de sol optam por elas, principalmente pela sua

facilidade de coloração e baixo custo, quando comparado a outras resinas, mas o processo de fabricação é consideravelmente mais demorado. Outro fator é que esse tipo de resina apresenta resistência elevada ao calor e a químicos, porém apresenta resistência moderada à abrasão e ainda, não são adequadas para certas aplicações, como montagem que seja necessário a furação na lente.[1,5,6,9]

O fato de ser um polímero termorrígido, impossibilita, nos dias de hoje, o reaproveitamento da matéria prima pelo processo de reciclagem, pois essa resina depois de endurecida não volta a forma líquida para ser submetida a nova moldagem, inviabilizando economicamente o processo.[5,10]

Características CR39

Valor Abbe: 58

Índice de Refração: 1,498

Densidade: 1,32

Proteção UV: 355nm

Transmitância no visível: 92.2%

As demais lentes são polímeros termoplásticos, que podem voltar as suas formas iniciais se forem aquecidos ou até mesmo dissolvidos, permitindo o processo de reciclagem.

POLICARBONATO DE BISFENOL A (PC BPA)

Esse material revolucionou o mundo óptico pela sua propriedade em resistir a impactos, levando vantagem sobre os cristais e CR-39, porém é sensível a solventes químicos como álcool e acetona, sofrendo o processo denominado de *“stress cracking”* e também arranha muito facilmente. Podem ser montados em óculos de sol que necessitem de furação nas lentes, assim como modelos esportivos para atividade que exija um material mais resistente a impactos.[1,5,6,7]

O policarbonato necessita da presença do BPA durante o processo de polimerização para a formação dessa resina. Quimicamente faz parte do grupo do Poliéster.[11]

As lentes de policarbonato apresentam a maior dispersão cromática (Abbe=32) dentre os materiais ópticos comercializados, diminuindo assim a sua qualidade óptica e ainda, podem apresentar o fenômeno de birrefringência com maior frequência que os outros termoplásticos.[5,6,7] (Figura1).

Características do PC BPA

Valor Abbe: 32

Índice de Refração: 1,586

Densidade: 1,20 a 1,30g/cm³

Proteção UV: até 400nm

Transmitância visível: 87%

A) Lente de Acrílico.

B) Lente de Policarbonato.

Figura1- Lentes solares vistas no polariscópio, podendo ser observado o fenômeno de birrefringência na imagem B.

POLIMETILMETACRILATO (PMMA)[12]

Características do PMMA

Valor Abbe: 57,2

Índice de Refração: 1.492

Densidade: 1,10 a 1,20g/cm³

Proteção UV: 400nm (340nm A) 420nm

Transmitância no visível: 92%

As lentes fabricadas com PMMA pertencem a família dos acrílicos e tendem a ser mais estáveis para modelagem e são o melhor material para ser cortado e polido. O acrílico é considerado o “crown” dos plásticos, sendo pouco dispersível no espectro visível e com superioridade no grau de transparência, ultrapassando inclusive os cristais. Também é considerado mais resistente à abrasão dentre todos os outros termoplásticos.[12]

As lentes de acrílico, juntamente com as de policarbonato, são os materiais mais utilizados pelas fábricas para confecção de óculos de sol.

Lentes de contato e intraoculares também utilizam o PMMA como matéria-prima.[13]

Esse material quando exposto a luz solar pode sofrer degradação fotoquímica, modificando suas propriedades físicas e mecânicas, bem como diminuindo a sua vida útil pois fragiliza o material afetando o grupo de cromóforos presentes na cadeia polimérica. Esses fatores geram questionamento no tempo que uma lente de óculos de sol com esse material irá cumprir sua função em proteger os olhos de quem as utiliza.[14,15]

GRILAMID ® TR90[16]

Características GRILAMID® TR90

Índice de Refração: 1,4905

Densidade: 1,12g/cm³

Transmitância no visível: 91 %

As lentes desenvolvidas com esse material são também conhecidas como lentes de "nylon", fazendo parte do grupo das poliamidas, tendo como principal característica serem muito flexíveis, resistindo a tensões de montagem em armações com elevada curvatura, inclusive com parafuso e orifícios, ainda, apresentam elevada resistência a solventes, como o álcoois, detergentes e soluções alcalinas.

O grupo de poliamidas utilizadas para lentes de óculos de sol são conhecidas comercialmente por Grilamid® TR90, uma grade especial para esse propósito.[16]

TRI ACETATO DE CELULOSE (TAC)[1]

Índice de Refração: 1,46-1,49

Transmitância no visível: 90 %

Tem como base a celulose, que é o polímero natural mais abundante na natureza. Esse material apresenta boa resistência a impactos sendo muito utilizado para fabricação de lentes polarizadas, que fazem um "sanduiche" com o filme polarizante, ficando TAC+filtro polarizante+TAC

Iremos tratar sobre lentes polarizantes no item 1.5.1.1

LENTES INORGÂNICAS

Comercialmente as lentes de vidro são denominadas lentes de cristal. O vidro mineral foi usado para óculos pela primeira vez pelo século XIII e por muitos séculos foi o único material oftálmico disponível no mercado. Seu grande sucesso se baseia por ser um material com excelente qualidade óptica, sendo até hoje um dos materiais com maior transparência (transmissão da luz visível) entre as lentes oftálmicas. A sua composição é basicamente areia, óxido de cálcio e óxido de sódio. Ainda, as cores das lentes são geralmente definidas na fundição do material. O tipo de vidro utilizado para confecção de lentes oftálmicas de qualidade se restringe ao vidro Crown.[4]

LENTES MINERAIS – VIDRO CROWN

Características do CROWN:

Valor Abbe: 59

Índice de Refração: 1,523

Densidade: 2,5g/cm³

Proteção UV: 360nm

Transmitância no visível: 90%

Dentre os vidros utilizados para lentes oftálmicas, o vidro *crown* se diferencia dos demais vidros por sua pureza, surgindo assim o cristal óptico.[5,17]

Tem-se referência de poucos fabricantes de óculos de sol que utilizam esse tipo de lente, mas uma marca de grande renome até hoje mantem o padrão original dos seus óculos de sol, revisitando o estilo da época e mantendo um visual referencial de sua grife.

A maior vantagem que esse material apresenta sobre os materiais orgânicos é sua alta resistência a riscos e ao calor, porém esse material foi perdendo espaço para os materiais orgânicos principalmente por serem mais leves e mais confortáveis que o vidro.[5]

Os materiais das lentes, como comentado, apresentam variações quanto a proteção aos raios UV de acordo com a sua composição química. Uma forma de garantir efetivamente essa proteção é aplicar um produto específico para tal finalidade, assim garantindo essa propriedade. O processo é feito por imersão em solução a base de benzofenonas, podendo ser aplicado em todos os tipos de lentes oftálmicas, tanto as que vão receber tratamentos como as que já receberam, garantindo assim a proteção contra os raios danosos.[18]

Quanto à coloração das lentes, pode ser por filtros de transmissão fixa – processo de coloração ou filtros de transmissão variável – lentes fotocromáticas. [1]

MÉTODOS DE COLORAÇÃO[1]

As lentes que passam pelo processo de coloração, a partir de corantes específicos, são denominadas lentes de coloração fixa, pois a cor resultante não sofre variação, permanecendo estável.

Descreveremos algumas das formas de serem aplicados esses corantes.

COLORAÇÃO NA MASSA

As lentes podem ser fabricadas já com a coloração desejada, inserindo o corante no material a ser processado, tanto em lentes inorgânicas como em orgânicas. Em lentes minerais a coloração é feita por adição de sais metálicos enquanto na orgânica por corantes específicos. Importante observar que esse processo de coloração na massa só é utilizado em lentes planas, para evitar coloração irregular pela diferença de espessura.

As lentes depois de prontas podem receber coloração superficial, porém nem todas lentes permitem que o corante penetre na sua superfície, variando de acordo com a

composição química, por isso são diferenciados os processos.

COLORAÇÃO SUPERFICIAL POR IMERSÃO

As lentes são imersas em cubas aquecidas, contendo corantes orgânicos, que pela temperatura adequada fazem dilatar os poros da lente permitindo incorporar a cor. O material que melhor responde a esse processo são as lentes do tipo CR-39. (Figura 2)

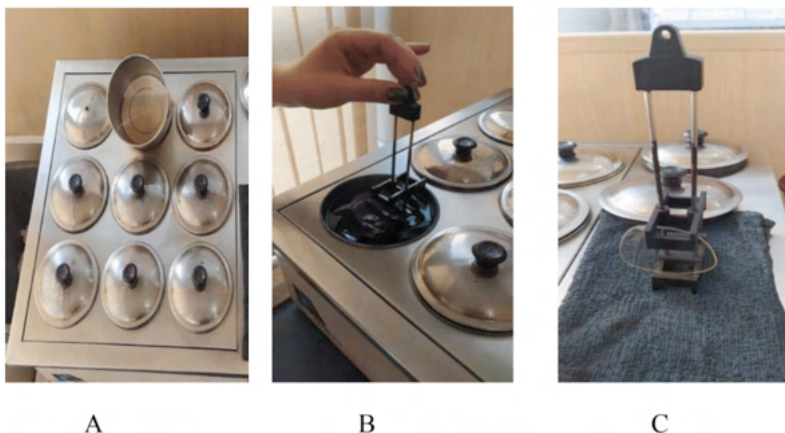



Figura 2: Processo de coloração por imersão. A) Cuba com compartimentos para corantes B) Processo manual de imersão C) Suporte para fixação das lentes.

COLORAÇÃO SUPERFICIAL POR CAMADA DE REVESTIMENTO (COATING)

No caso em que o material não aceita coloração superficial, como o policarbonato e resinas de médio e alto índice, tem-se a opção de aplicar verniz sobre a lente e, assim, a cor se fixar-se-á nessa camada e não na lente propriamente dita. O procedimento após esse pré-tratamento segue o processo de imersão.

COLORAÇÃO POR SUBLIMAÇÃO

Em lentes orgânicas de alto índice pode ser realizada a coloração recobrindo-se as lentes com papel colorido, que, numa câmara a vácuo, irá transferir a cor para lente através do processo de sublimação. No caso de lentes minerais sublima-se óxidos metálicos coloridos, igualmente numa câmera à vácuo, que irão provocar o depósito desse material sobre as lentes, causando o efeito de metalização das lentes.

LENTE DE COLORAÇÃO VARIÁVEL – FILTROS FOTOCRÔMICOS

A lente é considerada de coloração variável quando sofre alteração na sua cor por estímulo externo, ativando uma cor e, quando esse estímulo cessa, retornando ao seu estado inicial. Essas lentes são denominadas fotocromáticas ou fotossensíveis.

As lentes fotocromáticas ou fotossensíveis, apresentam na sua composição substâncias químicas fotocrômicas que são ativadas pela radiação, podendo ser no espectro visível ou pela radiação UV (maioria das lentes ofertadas no mercado), induzindo uma mudança reversível das cores dos compostos.[19,20]

As lentes fotocrômicas de cristal são conhecidas como fotocromáticas e as de resina como fotossensíveis.[21] Essa distinção de nomenclatura não é muito utilizada comercialmente, de uma forma geral os fabricantes designam como fotocromáticas também as lentes de resina.

A tecnologia para produção de lentes com filtros fotocrômicos baseia-se no substrato a ser aplicado: quanto ao tipo de material da lente, sua tolerância a temperaturas para absorção do filtro, bem como se bloco ou lente acabada. Podemos citar simplificadamente três processos:[22]

- Massa: As moléculas fotocrômicas são misturadas homogeneamente nos vidros e materiais plásticos antes do seu processamento. Esse processo permite que o material fotocrômico esteja distribuído homogeneamente por toda lente, sendo assim lentes corretivas podem apresentar diferença na intensidade de coloração quando ativadas, sendo mais intensas nas áreas mais espessas (no centro em lentes positivas e nas bordas em lentes negativas) [21]

- Imersão: As lentes recebem uma camada de *coating* na superfície externa e após são mergulhadas em soluções fotocrômicas e então submetidas a altas temperaturas para penetração do material[23], a uma profundidade de 150 a 200 μm, nessa camada.[24] Por fim recebem revestimento de endurecimento sobre a camada fotocrômica.

- Filme : Um filme contendo filtros fotocrômicos é laminado entre as camadas da lente para então a lente ser moldada.

A velocidade das reações químicas de ativação e desativação do material fotocrômico está diretamente relacionada a quantidade desse material depositado na lente, bem como a exposição a fonte de radiação e a temperatura do ambiente.[24], portanto as lentes escurecem mais em baixas temperaturas e clareiam mais rapidamente a temperaturas crescentes.

Lentes de resina que, com o passar do tempo, sofram foto-oxidação, alteram a fotossensibilidade do material fotocrômico, escurecendo menos.[21]

Quanto a proteção UV deve ser observado o tipo de material da lente utilizado, pois

quando o sistema fotocromático não está ativado pode não proteger totalmente da radiação UV.[24]

FILTROS DE ABSORÇÃO SELETIVA

Os filtros solares além de reduzirem a luminosidade e filtrarem UV, também podem apresentar outros benefícios ao usuário, como por exemplo, filtrar a luz polarizada oriunda de superfícies reflexivas; auxiliar na melhora do contraste em situações de baixa luminosidade; proteger preventivamente de espectros específicos como o da luz azul nociva, e ainda, filtrar algumas faixas do espectro da luz visível para melhorar a qualidade visual em pessoas com patologias determinadas.

FILTRO OCUPACIONAL

Trazemos essa nova nomenclatura para as lentes com filtros de absorção seletiva que agem no espectro da luz visível, mas sem função medicinal, garantindo benefícios ao usuário em condições adversas, adequando-as para um maior conforto visual. Importante salientar que, se houver alteração na percepção da visão pela cor da lente, obrigatoriamente deve-se também proteger a visão no espectro da radiação UV, conforme as normas técnicas validadas.

LENTES POLARIZADAS[1]

São lentes que tem a propriedade de absorverem a luz refletida horizontalmente, reduzindo os reflexos produzidos pela polarização parcial da luz sobre superfícies reflexivas, como estradas, neve ou superfície do mar. A intensa luz horizontal produz um reflexo, também conhecido como ruído óptico que pode reduzir a visibilidade. Ao aplicar um filtro polarizador verticalmente bloqueia-se totalmente a radiação refletida horizontalmente, evitando as luzes espalhadas, que atrapalham a visão, aumentando o contraste das cores. (Figura 3)

A B

Figura 3: Comparativo entre imagens de óculos de sol: A) Imagem com lente solar covencional B) Imagem com lente solar polarizada.

O filme polarizante na maioria dos casos é de poli (alcool vinílico)(PVA) e é protegido por duas capas de lentes que podem ser de materiais orgânicos como: Acetobutirato de Celulose (CAB), TAC, PC BPA, CR-39, PMMA, PA, entre outros.

Importante reforçar que a polarização não tem efeito sobre a absorção dos raios UV, mas o filme polarizante tem proteção UV em torno de 350nm, somado ao material das lentes que o revestem, geralmente atingem os 400nm.[24]

NIGHT DRIVE

As lentes podem receber um tratamento de superfície pelo processo de imersão, utilizando produto químico específico de coloração amarela, que terá a função de melhorar o contraste, visão de profundidade em situações de baixa luminosidade, chuva e neblina, bloqueando parte da luz azul dos faróis dos carros, dando maior conforto na condução de veículos nessas condições, pois a luz azul é o principal causador do ofuscamento provocado pelos faróis dos veículos, podendo diminuir a percepção do contraste, dando a sensação de visão borrada, visto que essa luz se difunde com grande facilidade na poeira e no vapor dágua no ar.[24] Esse filtro recebe nome comercial de *Night Drive* [25]. Sugere-se que, mesmo que o uso possa ocorrer na maior parte das vezes em condições de exposição reduzida de radiação UV, que se adicione essa proteção.

FILTRO DA LUZ AZUL

Elevadas intensidades da luz visível podem trazer desconforto visual, inclusive serem danosas à saúde, afetando diretamente a retina, como no caso da luz azul de alta energia[20,26,27,] Portanto, podemos considerar como filtro ocupacional de absorção seletiva, aquele que age no espectro da luz azul danosa, isso é de 435+- 20nm.[26],[29]

Os filtros em lentes incolores geralmente reduzem em torno de 20% a luz azul prejudicial, sendo importante avaliar que a quantidade de luz atenuada varia de acordo

com o comprimento de onda, não sendo fixa.[27]

Esse filtro pode ser utilizado em lentes incolores, mas sendo interessante a ampliação para uso em óculos de sol, abrangendo sua funcionalidade além da proteção UV e atenuação da luminosidade, para a proteção contra a luz azul prejudicial.[20] que tem a sua maior intensidade pela luz do sol.[27,28]

A aplicação do filtro da luz azul pode ser feita pelas seguintes tecnologias:

- Massa: É adicionado na massa da lente pigmentos que absorvem a luz azul, geralmente as lentes se apresentam com coloração mais amarelada para poder ter essa função ativada, porém novas tecnologias tem surgido, inclusive neutralizando essa cor mais âmbar da lente, permitindo lentes mais transparentes.[30] O espectro abrangente com essa tecnologia é de até 420 nm.[27]

- Antirreflexos (AR): Os Antirreflexos são considerados *coating* do tipo interferencial. As camadas produzidas com materiais de diferentes índices de refração produzem interferências nos diversos comprimentos de onda. Ao se desenvolver o antirreflexo se define os materiais, a sequência de camadas e a espessura de cada uma, definindo assim a interferência dos comprimentos de onda de interesse.[31]

Cada fabricante tem seu espectro de ação como filtro específico, sendo importante verificar o percentual e o comprimento de onda que corresponde esse filtro.

Tem-se no mercado filtros que abrangem 435 nm +-20 nm num percentual médio de 80% de transmitância.[27]

- Fotocromático: Utilização de filtros fotocrômicos específicos que, quando ativados, reduzem em torno de 80% a luz azul prejudicial [20] e quando inativados correspondem ao corte do próprio material da lente e/ou tratamentos de superfície.

A combinação de mais que uma tecnologia pode potencializar a proteção quanto a luz azul, por exemplo, filtro na massa adicionado a tratamento antirreflexo, podendo chegar em torno de 35% de filtro no espectro de 400 a 455 nm.[30]

FILTRO MEDICINAL

Os filtros medicinais são fabricados a partir de pigmentos de cor combinado com uma série de produtos químicos desenvolvidos para bloquear e/ou gerar contraste no espectro de luz. Dependendo da patologia o médico testa diversos tipos de filtros para buscar subjetivamente o que melhor dê conforto ao paciente.[25] Estudos demonstraram que filtros medicinais podem melhorar o contraste reduzindo o tempo de adaptação a diferentes condições de iluminação em pacientes com doenças associadas a retina.[32] Esses filtros podem estar associados a lentes com ou sem grau, porém o fato de alterarem a percepção

luminosa, devem também proteger contra a radiação UV.

REFERÊNCIAS

1. Marina Ruiz de los Paños Andrade e Paula Yepes Rodríguez. Caracterización de filtros solares comerciales. Trabajo de fin de grado – Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Óptica y Optometría. Madrid. 16/06/2020 – 34p.

2. L.Guisasola – Capítulo 16 – Lentes de protección a las radiaciones. p.231-239. Tecnologia óptica, lentes oftálmicas, diseño y adaptación. Edicions UPC, 2001.

3. José Maria Artigas Verde. Lentes de protección ocular - Tema V Óptica oftálmica II –– Facultat de Fisíca. Universitat de València. 2019 https://www.uv.es/artigas/oftalm.htm.

4. Claudia Isabel Carapeto do Carmo Ruivinho. Valorização dos resíduos de lentes oftámicas orgânicas. Dissertação de Mestrado- Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2010. https://hdl.handle.net/104000.1/1682

5. Marina Elizabeth Altidis. Desenvolvimento de lentes oftálmicas por fotopolimerização de compostos orgânicos. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Engenharia de materiais. Campina Grande. Set/2010 - 71f.

6. José Carlos Tomio Honda. ABC da óptica oftálmica. (2010) . Cert – Editora de Revistas Técnicas Ltda.

7. Fregolente, P. B. L. Estudo da fotopolimerizaçãode monômeros monofuncionais e multifuncionais para produção e recobrimento de lentes oftálmicas. 2006 . Dissertação de Mestrado - Unicamp

8. A. Duarte. Recursos ópticos à disposição do médico oftalmologista. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. 1997;60(3):320-31.

9. https://masterpolymers.com.br/novidades/plasticos-na-industria-optica Acessado em setembro de 2021.

10. Antônio Augusto Gorni. Introdução aos plásticos. http://www.gorni.eng.br acesssado em abril 2021.

11. Eshwar Pawar. A review article on acrylic PMMA. IOSR Journal of Mechanical and civil engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN:2320-334X, Volume 13, Issue 2 Ver.1 (Mar.-Apr. 2016) PP 01-04. www.iosrjournals.org acessado em abril 2021.

12. Renato Antônio Cruz. Confecção de lentes acrílicas para o ensino de ótica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. (1997) 65p.

13. Tânia Maria Piatti; Reinaldo Augusto Ferreira Rodrigues. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas, p.15. EDUFAL, 2005. In:http://www.usinaciencia.ufal.br/multimídia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracterisitcas_usus_producao_e_impactos_ambientais.pdf Acessado em abril 2021.

14. Mauro Masili, Fernanda Oliveira Duarte, Christopher C. White, Liliane Ventura. Degradation of sunglasses filters after long-term irradiation within solar simulation. Engineering Failure Analysis 103(2019) 503-516.

15. Lúcia Torres Vidales, Wilson Kindlein Júnior, Luís Henrique Alves Cândido, Renan Demori, Raquel S. Mauler. Blendas PC/PMMA como alternativa para reciclagem de óculos apreendidos pela Receita Federal do Brasil. 12° Congresso Brasileiro de Polímeros, 2013. http://hdl.handle.net/10183/81833

16. Grilamid TR – Brochure. Transparent polyamide for the most exacting requirements. www.emsgrivory.com

17. Marco Henrique Zangiacomini. Polimerização via radical livre fotoiniciada de sistemas multicomponentes para utilização em dispositivos oftálmicos: aspectos ópticos e mecânicos. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (2009). 115p.

18. Matsuhara, M.L., Machado, L.R.G. e Fernamdes, L.C. Espectrofotometria de lentes oftálmicas orgânicas de visão simples submetidas à radiação ultravioleta A, ultravioleta B e luz visível. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. São Paulo, v. 67, n,4, p. 571-574, 2004.

19. Heinz Dürr, Bovas-Laurent (2003). Photochromism – Molecules and Systems. https://books.google.com.br/books?id=i-m3tFfXAngC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false acessado em março 2021.

20. Gilles Baillet, Bérangère Granger. How transitions lenses filter harmful blue light. Points de vue, International Review of ophtalmic optics. On line publication. March, 2016. Acessado em abril 2021 https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/how-transitions-lenses-filter-harmful-blue-light_0.pdf

21. Oliveira, P.R.A., Oliveira A.C., Oliveira F.C. Radiação ultravioleta e as lentes fotocrômicas. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. São Paulo, v.64, n. 2, 2001

22. Vision-Ease Lens Technical Services Department. Photochromic lenses: a brief look at their history, how they work, and the various manufacturing Technologies.http://www.visionease.com/wp-content/uploads/2016/09/ChangeRxWhitePaper211_pagebypage.pdf

23. Michela de Paulo. Inovação no setor são as lentes fotocromáticas. Inovação Uniemp (on line). 2007, vol. 3, n. 2, PP. 38-39. Acessado em abril de 2021 http://inovação.scielo.br

24. Suárez,CCH. Determinación de la fotoprotección de lentes de sol fotoctomáticos, polarizados y de policarbonato. Av. em Energías Renov y Medio Ambient 2011; 15:147-155

25. Alex Francisco Baqueti. Palestra de Filtros Medicinais – Segment System – Em Mercooptica-Ajorsul, Gramado, RS (2019)

26. Emilie Arnault, Coralie Barrau, Céline Nanteau, Pauline Gondouin, Karine Bigot, Françoise Viénot, Emmanuel Gutman, Valérie Fontaine, Thierry Villete, Denis Cohen-Tannoudji, José-Alain Sahel, Serge Picaud. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium modelo f age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS One. 2013 Aug 23;8(8):e71398. eCollection 2013. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24058402. acessado em março de 2021

27. Gary Morgan. Blue light refocused – separating sciense from speculation. (2017) https://www.2020mag.com/ce/blue-light-refocused-separating-science acessado em março de 2021.

28. J. Arines, O. Rodriguez. Suitability of blue filter ophtalmic lenses with respect to the use with móbile devices and computers. Óptica Pura Y Aplicada 54(1)1-11 (2021).

29. Ryan Parker. The evolution of lenses, smart blue filter. Points de Vue. International Review of Ophtalmic Optics. Jul.2016. https://www.pointsdevue.com/article/evolution-lenses-smart-blue-filtertm. acessado em março de 2021.

30. Antônio Fontana e Nelson Maurici Antonio – Reflexo é coisa do passado. Tratamentos ópticos garantem qualidade visual, boa aparência e agregam valor às lentes oftálmicas. (2001) – http://opto.com.br

31. Coralie Barrau, Pierre Fromentin, Marozia Sifola, Gwenaël Verger. Blue UV Capture. A new “in-the-mass” absorption solution against UV & Blue-violet light in na optimal clear lens. Points de Vue. International Review of Ophthalmic Optics.June 2019. www.pointsdevue.com acessado em abril de 2021.

32. https://www.zeiss.com.br/vision-care/melhor-visão/compreendendo-a-visao/a-luz-azul-o-que-faz-bem-e-o-que-faz-mal.html Acessado em abril de 2021.

CAPÍTULO 8

OS ÓCULOS DE SOL E SUAS NORMAS

Liliane Ventura

INTRODUÇÃO

Os óculos de sol possuem normas específicas tanto para a proteção ocular do consumidor, como para a garantir um mínimo de qualidade do produto comprado.

Os testes para garantia de qualidade incluem durabilidade da armação e das lentes (quebras, deformações), não alteração das cores das lentes ao longo do tempo, garantia de que não possuem grau (dioptrias associadas às lentes) ou desvios ópticos (desvios prismáticos), teste de uniformidade da transmitância luminosa (todas as regiões da lente por onde se olha deve ter a mesma intensidade de cor e de proteção ultravioleta), e não oxidação por suor.

Os testes para garantia da proteção ocular incluem, entre outros, o mais conhecido deles, que é a proteção contra os raios ultravioletas.

Mas, o que o consumidor quase não se atenta é que outros testes são igualmente importantes para a proteção do olho e do usuário.

Um dos testes verifica a inflamabilidade dos óculos, ou seja, se uma faísca atinge a lente ou a armação, é importante que os óculos não se incendeiem.

Outro teste refere-se a óculos muito escuros que podem confundir se as luzes do semáforo estão acesas ou apagadas, colocando em risco o motorista e população a sua volta.

Em relação à armação, é importante que o material não cause alergia.

Ainda, óculos com lentes polarizadas precisam que seus polarizadores estejam ajustados para que não interfiram em reflexos das luzes de forma inadequada, confundindo o usuário.

Por vários anos a autora deste livro tem estudado os óculos de sol e suas normas, e em 2013, a Profa. Liliane Ventura, juntamente com outros 3 autores deste livro, José de Anchieta Toschi, Prof. Mauro Masili e Prof. Homero Schiabel, participaram da redação da norma brasileira para óculos de sol, a NBR15111:2013.

Neste capítulo, os ensaios das normas são descritos de forma que o leigo entenda do que se trata o teste, para que, tanto Ópticos, Oftalmologistas, Físicos, Engenheiros e

consumidores possam entender a ciência e a proposta que se tem para que os óculos de sol sejam certificados para a garantia da saúde ocular e do investimento no produto do consumidor.

A norma para óculos de sol atual no Brasil é a NBR ISO12312-1 (1), que é uma norma espelho da ISO 12312-1 (2), utilizada na Europa e Estados Unidos da América.

A norma Australiana difere desta outra em alguns pontos, mas o mais importante deles, é na extensão da proteção ultravioleta, que tem seu intervalo de proteção estendido até 400 nm. Embora o Brasil esteja em latitude mais parecida com a Austrália (em termos mais simplistas, a irradiância solar no Brasil é mais parecida com a da Austrália), segue a mencionada ISO, que requer proteção ultravioleta apenas até 380 nm.

O intervalo de proteção ultravioleta mais adequado é o de 280 nm – 400 nm e esta discussão científica sobre o limite ser UV380 ou UV400 para a proteção da saúde ocular, no uso de óculos de sol, pode ser mais aprofundada na leitura de trabalhos na literatura especializada (3-6).

AS PARTES PRINCIPAIS DOS ÓCULOS

Para compreender melhor os itens e testes compreendidos pelas normas, a figura 1 traz as denominações das partes principais dos óculos de sol.

Figura 1: Partes principais dos óculos de sol (crédito da figura de Igor Cordeiro Santa Bárbara)

A transmitância luminosa é a porcentagem da luz incidente que atravessa um

material. Para testes de óculos de sol, estamos interessados na transmitância luminosa das lentes.

Nossos olhos são receptores, e se adaptam à quantidade de luz do ambiente. Óculos escuros regulam a intensidade de luz que chega nos olhos.

Deve-se saber que a região visível da luz para o olho humano considerado pelas normas e órgão reguladores (ISO 12312-1; ICNIRP; CIE; OMS, etc) situa-se na região de 380 nm a 780 nm do espectro eletromagnético [1,2].

As regiões do ultravioleta, também consideradas por esses mesmos citados, que adentram a atmosfera terrestre e chegam até nossos olhos estão no intervalo de 280 nm – 400 nm, sendo classificados como UVA de 315 nm – 400 nm e UVB de 280 nm – 315 nm.

A figura 2 mostra a região do espectro eletromagnético do ultravioleta e do visível.

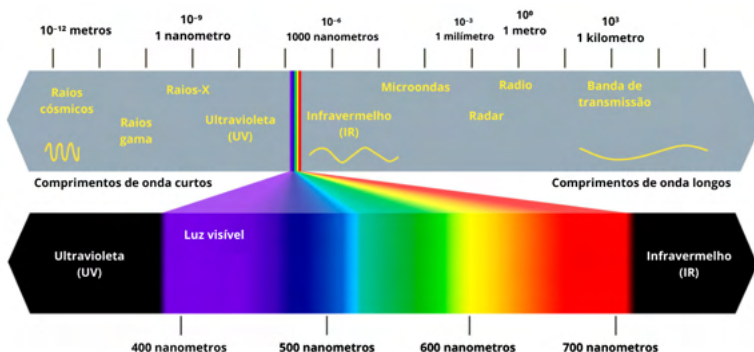



Figura 2: Faixa do espectro eletromagnético do ultravioleta e do visível.

É importante saber que quanto mais escuros são os óculos de sol, mais a pupila se dilata, deixando o olho sem a proteção natural dele de diminuir o diâmetro da pupila na presença da luz, de franzir as sobrancelhas e de aproximar os cílios superiores e inferiores para protegê-los da luminosidade.

CATEGORIAS DOS ÓCULOS DE SOL (380 NM – 780 NM)

Assim sendo, os óculos de sol são classificados por 5 CATEGORIAS, desde as lentes mais claras de categoria 0 às mais escuras, de categoria 4 [1,2].

Dependendo do ambiente e da atividade desenvolvida, a escolha do filtro ideal irá melhorar a visão e percepção através da limitação da quantidade de luz, diferenciação de cores e contraste.

O Sol emite energia em vários comprimentos de onda do espectro eletromagnético,

e 44% da energia é concentrada no intervalo do espectro de comprimento de onda visível (380 nm – 780 nm), que é a parte luminosa que o ser humano enxerga.

A categoria depende da quantidade de luz visível, t_V, transmitida pela lente. A tabela 1 mostra a classificação das categorias das lentes em função da transmissão da luz visível (380 nm – 780 nm).

CATEGORIA DA LENTE DOS ÓCULOS DE SOL	PORCENTAGEM DE TRANSMISSÃO DA LUZ VISÍVEL
0	> 80%
1	43% – 80%
2	18% – 43%
3	8% – 18%
4	3% – 8%

Tabela 1: Classificação das categorias das lentes em função da transmissão da luz visível, adaptada da NBR ISO 12312-1:2018.

Fica fácil de entender assim, que quanto mais escuras as lentes dos óculos de sol são, maior a proteção ultravioleta (UVA e UVB) necessária nas lentes, para compensar a diminuição da proteção natural biológica na presença da luz.

LENTES FOTOSSENSÍVEIS

As lentes fotossensíveis possuem a tecnologia para promover o conforto visual do usuário de óculos, além de garantir o bloqueio da luz Ultravioleta. Elas escurecem em ambientes muito claros e clareiam em ambientes escuros.

A ativação e escurecimento da lente se dá pela energia da luz ultravioleta. Um exemplo de material fotossensível é o cloreto de prata com íons de cobre que, quando excitado por uma fonte luminosa com UV, transforma o cloreto de prata em prata metálica, escurecendo a lente e diminuindo sua transmitância do comprimento de onda visível [7]. Quando a energia incidente é diminuída ou cessada, os íons de cobre forçam a troca de elétrons com o cloro, que reage com a prata e volta para seu estado inicial clareando a lente novamente.

Em detalhes, as lentes fotocromáticas possuem cristais de cloreto de prata (AgCl) incorporados diretamente no vidro. Quando a radiação ultravioleta atinge os cristais, eles escurecem, pois os íons prata (Ag+) são reduzidos a prata metálica (Ag0,) pelos íons cloreto (Cl–), que se transformam em átomos de cloro elementar (Cl). Veja a equação de equilíbrio a seguir:

$$AgCl + energia \leftrightarrow Ag + Cl$$

(claro) (escuro)

Quanto maior a incidência de luz, maior será o número de átomos de prata formado, escurecendo a lente. Ao diminuir a incidência luminosa (ambiente escuro), o equilíbrio é deslocado para a esquerda (formação de AgCl), clareando a lente.

Isso se deve ao "Princípio de Le Chatelier":

" – Se um sistema em equilíbrio é perturbado por uma alteração na concentração, temperatura ou pressão de um dos componentes, o sistema deslocará a sua posição de equilíbrio de forma a contrabalancear o efeito da perturbação"

O aumento da incidência desloca o equilíbrio para a direita (formação de Ag metálica), fazendo a lente escurecer.

Em ambientes que não possuem UV a lente permanece transparente, como espaços fechados ou até mesmo dentro de um carro, uma vez que os vidros dos veículos são responsáveis pelo bloqueio de mais de 99% do UV.

Os filtros fotossensíveis podem ser de três tipos diferentes de cores que trazem seus benefícios particulares para cada tipo de ambiente e atividade exercida.

A cor verde se adapta as variações da luminosidade solar, suavizando a tonalidade das cores ao redor.

A cor marrom aumenta o contraste da visão em dias nublados. É recomendado para utilizar na direção de veículos.

Já a cor cinza/preto é a mais comum e permite a melhor percepção das cores. É indicado para uso geral e prática de esportes.

Além das 3 cores principais, atualmente existem mais 3 cores novas disponíveis no mercado: ametista, âmbar e safira.

Como o vidro dos automóveis restringe todo UV necessário para a ativação da lente fotossensível, foram desenvolvidas novas tecnologias que, além de utilizar a luz UV, é usado o comprimento de onda da luz azul-violeta, também chamada de azul nocivo, que é visível para o olho humano, porém é uma cor que gera desconfortos e pode ser eliminada da visão, permitindo assim a ativação da lente fotossensível mesmo sem a presença da luz UV.

LENTES POLARIZADAS

Óculos de sol com filtros polarizadores são muito eficientes e especialmente úteis para direção, pescarias, etc.

O brilho que se vê no asfalto, em dias de muito sol, dando uma falsa impressão de pista molhada, e a enorme quantidade de reflexos de luz em águas em movimento (mar, lagoas, etc.), são brilhos que ofuscam a visão.

A utilização de filtros polarizadores em óculos de sol elimina o intenso brilho da luz, quando refletida em determinadas superfícies. A quantidade de luz polarizada horizontalmente no ambiente é predominante, assim, os filtros polarizadores são montados com o seu eixo de transmissão alinhados verticalmente, para anular esta parcela. Dessa forma, apenas a luz polarizada verticalmente atingirá o olho do usuário, diminuindo o ofuscamento da imagem.

A figura 3 ilustra o comportamento da luz, na forma de onda eletromagnética e a ação do filtro polarizador sobre a luz refletida.

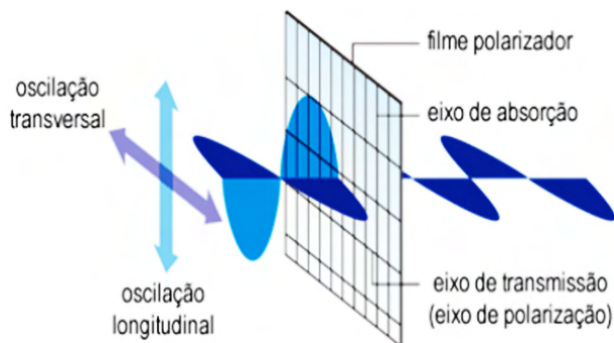



Figura 3: Comportamento da luz, na forma de onda eletromagnética e a ação do filtro polarizador sobre a luz refletida.

A figura 4 ilustra o efeito dos polarizadores nas lentes de óculos de sol. Como o filtro é colocado verticalmente nas lentes, para cortar o efeito do ofuscamento polarizado horizontalmente, somente a luz com polarização vertical irá atingir os olhos do usuário.

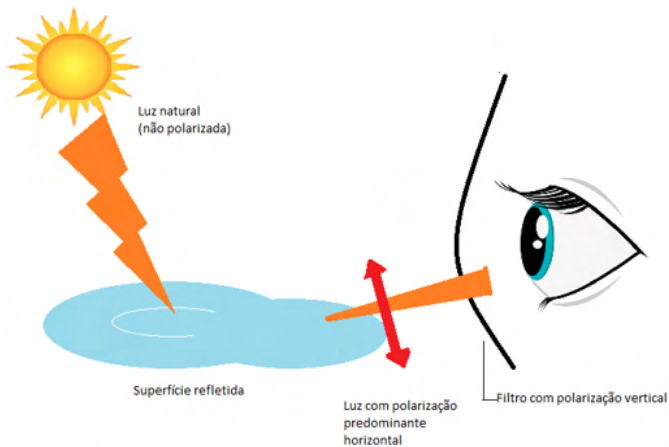



Figura 4: Efeito dos filtros polarizadores das lentes de óculos de sol para diminuir o ofuscamento da imagem.

A figura 5 mostra uma sequência de movimento, girando os óculos, para ver como é possível verificar de modo simples se as lentes dos óculos de sol são polarizadas. Basta girar a lente na frente da tela de um celular ou de um monitor de computador.

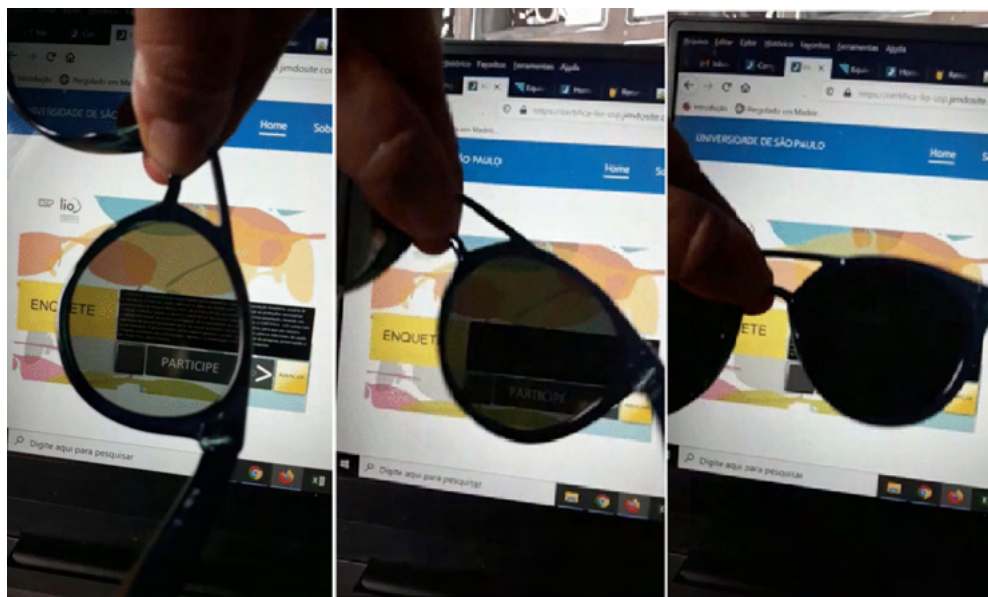



Figura 5: Modo simples para verificar se as lentes dos óculos de sol são polarizadas: rotacione as lentes na frene da tela de um celular ou de um monitor de computador.

ENTENDENDO OS PRINCIPAIS TESTES DOS ENSAIOS REQUISITOS NA NORMA BRASILEIRA DE ÓCULOS DE SOL (NBR ISO 12311:2018) [9]

A norma para óculos de sol vigente no Brasil é a NBR ISO 12312-1:2018 [1]. Ela é espelho da ISO internacional [2] e é utilizada na Europa e Estados Unidos. A Austrália tem norma própria, a AS1067:2016 [8]. A Austrália, está situada em latitude bem parecida com a do Brasil, e, portanto, a irradiância solar que atinge o Brasil é bem parecida com a que atinge a Austrália.

Vamos nos ater aos testes requisitos da norma vigente no Brasil. Também iremos dividir os ensaios em dois itens principais: proteção pessoal (olho ou face) e proteção ao usuário (consumidor).

TESTES PARA PROTEÇÃO OCULAR OU PROTEÇÃO PESSOAL

Proteção ultravioleta para óculos de sol UVA e UVB (280 nm – 380nm/400 nm)

(NBR ISO 12311:2018 – ITEM 7.3)

Os óculos de sol devem possuir proteção ultravioleta para a saúde ocular, prevenindo os efeitos adversos, cumulativos desta radiação.

Os comprimentos de onda testados pelas normas Brasileira, Europeia e Americana são de 280 nm – 380 nm, mas existem normas, de outros Países, que testam de 280 nm – 400 nm, como é o caso da Austrália.

Como comentado, investigações científicas indicam que para a proteção ocular no território brasileiro, devido à irradiância do sol que atinge a região terrestre desse País, o intervalo espectral que os filtros solares devem cobrir, é de 280 nm a 400 nm [10]. Vale a pena verificar se os óculos estão com a proteção UV400 certificada por outros países, uma vez que ainda não há laboratórios de certificação de óculos de sol no Brasil até o presente ano de 2021.

Profissionais realizam os testes em espectrofotômetros e as medições são ponderadas pela sensibilidade do olho humano [1].

Os testes no espectrofotômetro (equipamento científico que seleciona os comprimentos de onda com precisão de até milésimos de nanômetros e analisam com bastante precisão a transmitância das lentes) medem a porcentagem de transmissão da luz, a cada 5 – 10 nm (requisito das normas), no intervalo de 280 nm – 780 nm, que inclui os intervalos de UVB, UVA e VISÍVEL.

A figura 6 mostra a foto de um espectrofotômetro utilizado para realizar estas medições.

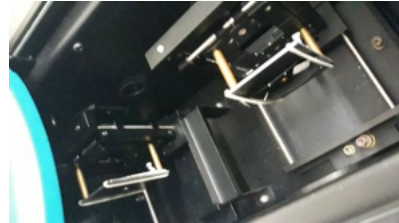



Figura 6: (a) foto de um espectrofotômetro CARY5000 da VARIAN localizado no CERTIFICA-LIO da USP de São Carlos; (b) compartimento interior para medidas das lentes na região central; (c) o código QR mostra um vídeo da espectroscopia de transmitância sendo realizada em lentes de óculos de sol. https://youtu.be/rVcpP4mlZjU.

Os limites máximos de transmitância no ultravioleta são dados para cada seção da faixa ultravioleta (UV): UVA e para a UVB. Esse limite de transmitância permitida para o UV depende das transmitâncias das lentes para o intervalo da luz visível, ou seja, a proteção UV depende diretamente da categoria dos óculos solares (0 a 4). Então, não significa que, se a lente transmitir alguma porcentagem de UV, os óculos não estão com filtros adequados e os olhos desprotegidos. Do mesmo modo, não significa que um par de óculos com 80% de proteção UV proteja mais o olho do usuário do que óculos com proteção menor que 80%. O conjunto entre a categoria (lentes claras ou escuras) e o filtro de proteção UV é que indicará se os olhos do usuário estarão protegidos.

A figura 7 ilustra a quantidade de UVA e UVB que são permitidos serem transmitidos nas lentes, em função das categorias das mesmas.

As lentes de categoria 4 são inapropriadas para a direção de veículos, pois, por serem bastante escuras podem causar desatenção a sinais luminosos e confusão de cores.

Lentes com transmissão menor do que 3% no visível são muito escuras e não são apropriadas para o uso, podendo colocar o usuário em risco, por diminuir a visão consideravelmente.

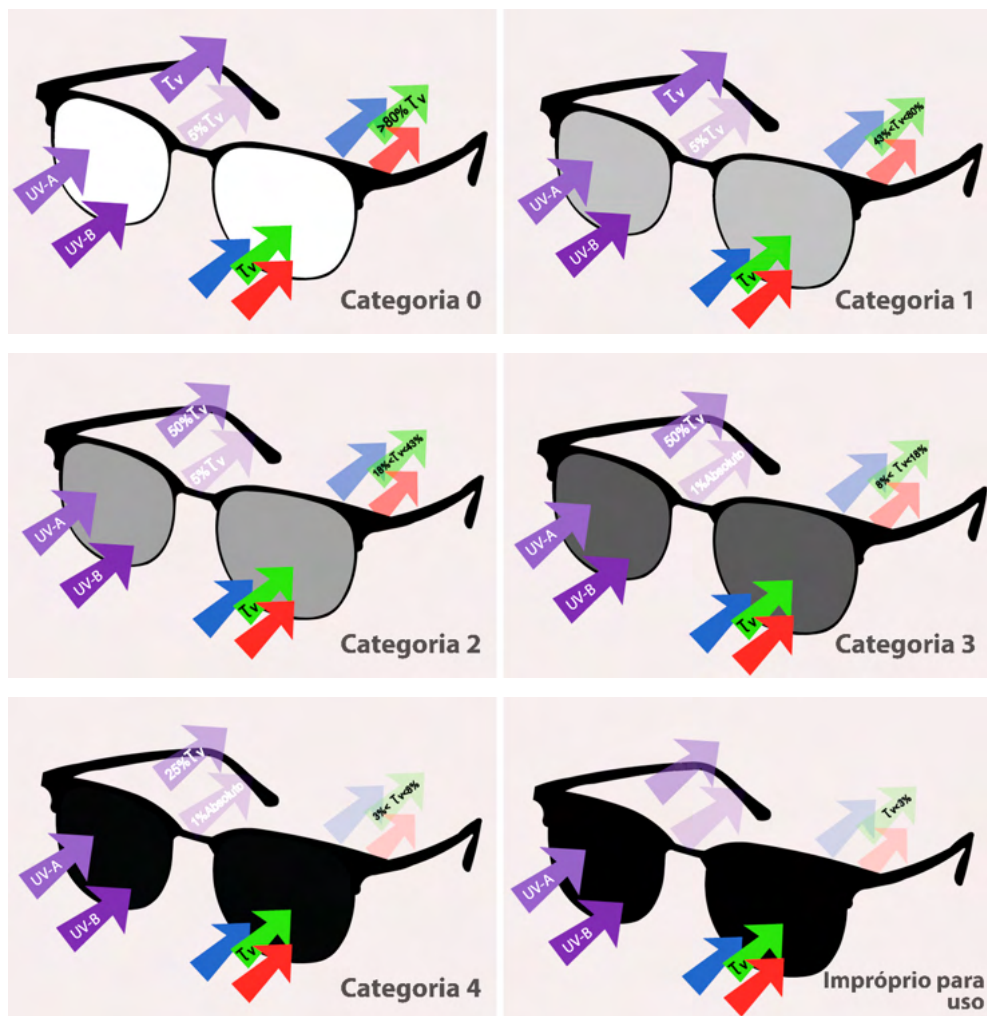



Figura 7: Representação da transmissão ultravioleta UVA (315 nm – 380/400 nm) e UVB (280 nm – 315 nm) para os óculos de sol em função das categorias de 0 – 4 (transmissão da luz no intervalo visível de 380 – 780 nm), para a proteção ocular, definida pelas normas de óculos de sol vigentes. (Crédito da figura de Gustavo Santos Barban).

Ainda, as transmissões do ultravioleta nas lentes de óculos de sol são medidas a cada 5 nm e cada uma destas porcentagens de transmitância para cada um destes comprimentos de onda é multiplicada por um fator de risco ao olho, que compõe a função de ponderação.

O motivo de se multiplicar cada comprimento de onda por um fator de ponderação é para que os comprimentos de onda que são mais maléficos à saúde ocular tenham um grande fator multiplicado a ele, de modo que, uma pequena porção da luz maléfica transmitida, tenha um peso maior (de 280 nm – 315 nm). As transmitâncias das lentes para os comprimentos de onda menos maléficos são multiplicados por um fator de ponderação menor, contribuindo menos no valor final da transmissão do ultravioleta total.

A figura 8 mostra a função de ponderação para os comprimentos de onda do UVA e UVB.

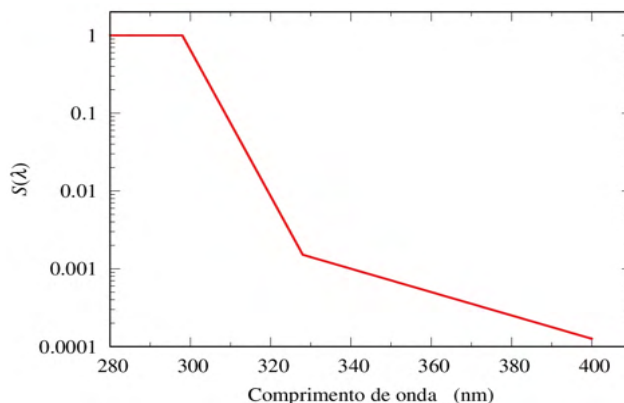



Figura 8: Função de ponderação para os comprimentos de onda do UVA e UVB.

A luz azul "tóxica" ao olho (380 nm – 500 nm)

Nos últimos anos, houve um crescente interesse do público, de profissionais da saúde, do ramo óptico e de pesquisadores sobre danos oculares provocados pela luz azul e sobre formas de preveni-los [(11)].

Muitos estudos foram publicados sobre danos induzidos pela luz azul aos tecidos da retina, com atenção especial aos efeitos crônicos [(12-19)].

A luz azul, além de, em comparação com os demais comprimentos de onda visíveis, ter pouca contribuição à acuidade visual, é focada antes da retina por causa de seu curto comprimento de onda, o que pode causar fatiga ocular. Este desconforto é bem conhecido pelo público em telas de celulares [(19)] em monitores de vídeo, em lâmpadas frias (raias de azul e violeta), entre outros. [(18)]

Soluções via *software* para filtragem de luz azul da tela de celulares e de computadores se tornaram populares ao ponto de alguns sistemas operacionais os terem embutidos.

Os óculos com proteção azul também têm tido aumento de popularidade, principalmente entre os que trabalham longas horas diante do computador ou do celular.

No entanto, o público, em geral, não apresenta a mesma preocupação com a proteção contra a luz azul que apresenta com a ultravioleta. Isso se deve, em parte, pela falta de informação massiva, como acontece para a radiação ultravioleta.

Trabalhos de investigação sobre a luz azul transmitida nos óculos de sol, que são vendidos no mercado brasileiro traz informações mais detalhadas sobre esse assunto [20].

Além disso, as normas de óculos de sol atuais não apresentam requisitos de proteção contra a luz azul solar.

Absorção/Transmitância de luz azul (NBR ISO 12311:2018 – Item 7.4)

Muitos fabricantes de lentes oferecem proteção à luz azul para diversos tipos de lentes. Apesar disso, não existe um limite mínimo estabelecido pelos órgãos reguladores.

O equipamento utilizado no teste é o espectrofotômetro e medição da transmitância da lente é realizada para cada comprimento de onda da faixa azul, de 380 nm – 500 nm. Além disso também é utilizada uma função de risco da luz azul (fator de ponderação para cada 5 nm do espectro eletromagnético) para a mesma faixa de comprimentos de onda.

Quando um filtro de luz azul é oferecido pelo fabricante, a transmitância da luz azul não pode ultrapassar 0,5% do valor especificado pelo fabricante.

Absorção/Transmitância de luz infravermelha (NBR ISO 12311:2018 – Item 7.5)

A proteção contra luz infravermelha (780 nm – 2000 nm), embora esteja nas normas, não é muito solicitada pelos usuários e nem tão pouco prescrita pelos médicos. Mas existe um item na norma para óculos de sol que coloca limites para os fabricantes que declaram ter proteção aos raios infravermelhos. Neste caso a norma diz que a transmitância no infravermelho não deve exceder a transmitância no visível. Por exemplo, se um par de óculos de categoria 3 apresentar transmitância luminosa de 15%, a transmitância no infravermelho não pode ser maior que 15% também.

Detecção de Luzes de Sinalização de Trânsito (NBR ISO 12311 – item 7.8)

A visualização das luzes de sinalização de trânsito (vermelha, amarela e verde) não pode ser prejudicada pelo uso de óculos de sol, para não oferecer riscos à segurança do motorista, dos pedestres e de outros veículos.

Assim, este teste, denominado “Quociente de Atenuação Visual Relativo para Detecção de Sinal de Luz, Q_{sinal}”, verifica se os óculos de sol estão apropriados para direção de veículos terrestres.

O quociente de detecção de sinal é o valor da divisão transmissão das luzes de sinalização (vermelha, amarela e verde) pela transmissão da luz visível, na lente, expresso em porcentagem.

A figura 9 traz a representação gráfica do espectro de transmissão dos sinais de trânsito, ponderada pela sensibilidade do olho humano (eixo vertical).

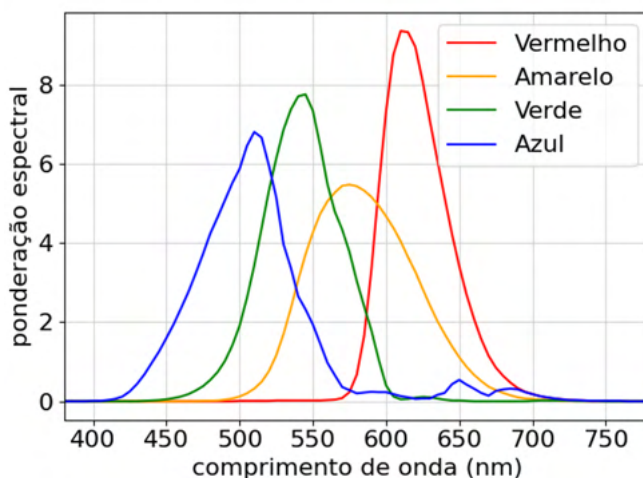



Figura 9: Representação gráfica do espectro de transmissão das cores dos sinais de trânsito, ponderada pela sensibilidade do olho humano (eixo vertical) [20].

Nela estão evidenciadas as cores dos sinais, no caso, vermelho, amarelo, verde e azul. No eixo horizontal estão os comprimentos de onda da faixa visível (380 nm – 780 nm) e no vertical as transmitâncias mínimas permitidas da luz semafórica.

A razão entre a transmissão da luz do semáforo pela luz visível não pode ser inferior a:

- 0,8 para o vermelho;
- 0,6 para o amarelo, o verde e o azul.

A transmissão da luz nas lentes é determinada por espectroscopia.

A figura 10 mostra a mínima quantidade de luz, para cada uma das 3 cores do semáforo, que os óculos devem transmitir para que os óculos sejam adequados ao uso no trânsito de veículos.

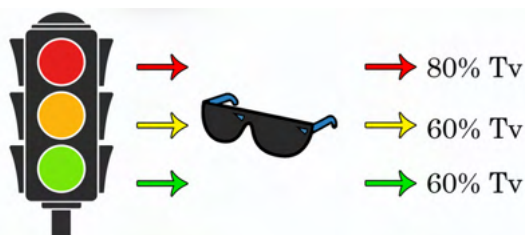



Figura 10: Representação da mínima quantidade de luz, para cada uma das 3 cores do semáforo, que os óculos devem transmitir para que os óculos sejam adequados ao uso no trânsito de veículos (crédito da figura: Gabriel Ferreira Salomão).

Teste de Uniformidade de Transmitância Luminosa (NBR ISO 12311 – item 7.2)

Existe um teste denominado de teste de uniformidade da transmitância luminosa, que serve para garantir que a transmitância seja a mesma na região dos 40 mm centrais da lente, no comprimento de onda de 555 nm, com varredura tanto para a região ultravioleta, como para o visível. Assim, analisa a uniformidade da transmissão da luz em 555 nm na lente, verificando se não há intensidades diferentes em posições diferentes (2).

Esse teste é realizado nas lentes individualmente e depois nas lentes em conjunto, direita e esquerda, nos óculos.

A transmitância na lente em vários pontos, é medida por um espectrofotômetro, com acoplamento de um acessório de varredura na lente e testa os pontos como ilustrados na figura 11.

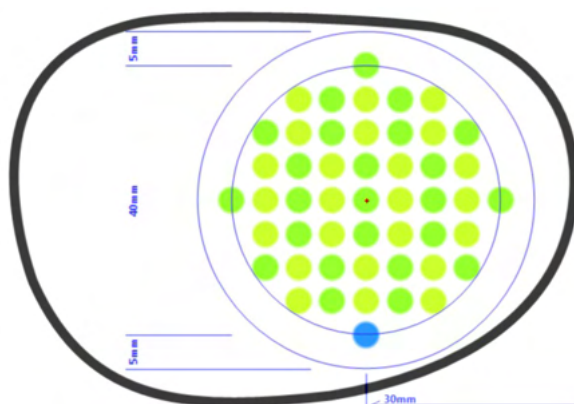



Figura 11: Esquemático dos pontos avaliados nas medidas de transmitância da lente dos óculos de sol.

A máxima discrepância permitida para a uniformidade de uma lente individualmente depende da categoria da lente.

A diferença relativa do valor de transmitância luminosa entre dois pontos do filtro, dentro de um círculo de 40 mm de diâmetro, em torno do ponto de referência ou do bordo do filtro menos a zona marginal com 5 mm de largura, o que for menor, não deve ser superior a 10% (em relação ao valor mais alto), exceto para a categoria 4, onde não deve ser superior a 20%.

O objetivo do teste em conjunto, como no individual, é garantir a uniformidade de transmitância luminosa, mas desta vez, ao invés de medir a diferença entre partes da mesma lente, é medida a diferença entre as duas lentes.

A máxima discrepância permitida para a uniformidade para o conjunto das duas lentes (olho direito e olho esquerdo) é de 15%.

Detalhes Técnicos do Teste de uniformidade das lentes individualmente

Encontra-se o ponto de referência descrito na ISO 4007 [21], e delimita-se uma área circular de diâmetro d em volta do ponto de referência. O diâmetro (d) é definido como 40 mm para lentes com altura (h) superior a 50 mm e menor (h-10) para lentes com altura inferior a 50 mm, e uma área de espessura 0,5 mm na borda do círculo deve ser desconsiderada. O operador deve varrer a área com um feixe de luz branca perpendicular à lente, e usar um sensor para medir a transmitância. Após medir os valores de transmitância (T) ao longo da lente, é calculada a porcentagem da diferença entre o maior (Tmax) e o menor valor (Tmin) em relação ao maior valor.

(Tmax – Tmin) / Tmax

Essa porcentagem é a uniformidade de transmitância luminosa.

Por exemplo, se o maior valor medido for 25 e o menor 24, a uniformidade de transmitância luminosa é (25 – 24) / 25 = 0,04 = 4%. Esse valor é o resultado do teste.

Detalhes Técnicos do Teste de uniformidade do conjunto das 2 lentes dos óculos

Encontra-se o ponto de referência e a área de interesse nas duas lentes, exatamente como descrito no teste individual e realiza-se a medição de transmitância ao longo das áreas de interesse das duas lentes.

Neste teste, a discrepância que se avalia é entre os pontos de máxima transmitância de cada lente. Se denominarmos a transmitância máxima da lente 1 de T1, e a transmitância máxima da lente 2 de T2, calcula-se a métrica como Δp=|T1 – T2|/max(T1, T2), onde o denominador max(T1, T2) fornece o maior valor entre T1 e T2. Assim, se T1=19 e T2=20

Δp = |19–20|/ 20

Δp = 1/20

Δp = 0,05 = 5%

A figura 12 apresenta uma medida sendo realizada no teste de uniformidade de transmitância da lente.

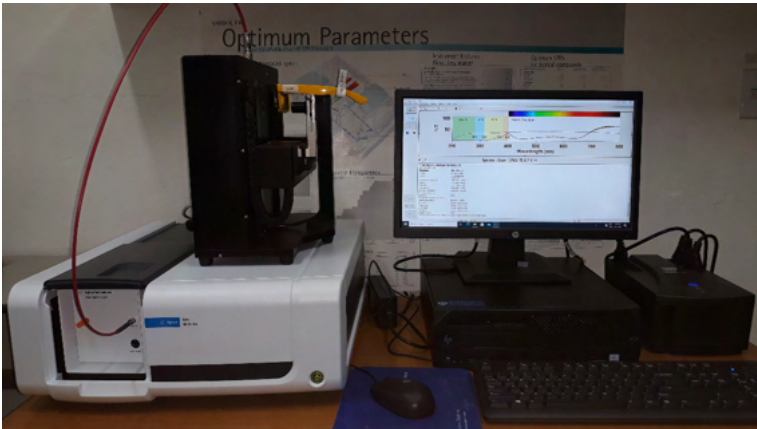
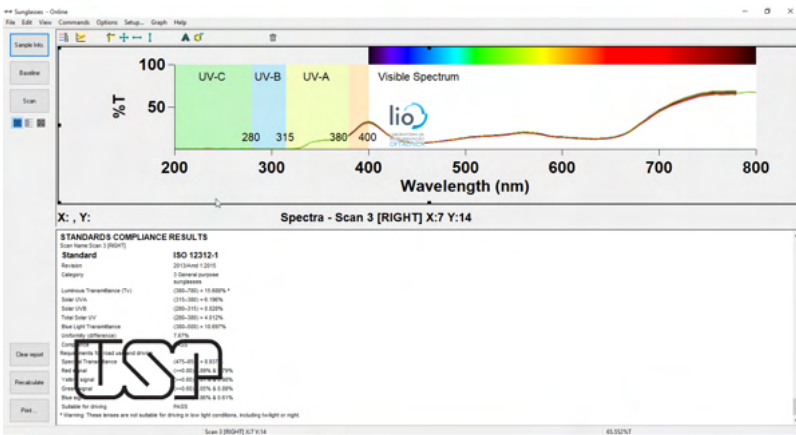
(a)

(b)

(c)

Figura 12: (a) Foto do espectrofotômetro com dispositivo de escaneamento, do CERTIFICA-LIO, na Universidade de São Paulo (campus de São Carlos – SP), que realiza a medida do teste de uniformidade de transmitância da lente; (b) tela de medidas de uniformidade do equipamento do CERTIFICA-LIO-EESC-USP; (c) código QR do vídeo de uma medida de uniformidade de transmitância a 555 nm, sendo realizada no equipamento. https://youtu.be/_V3zo9h__24

TESTES PARA PROTEÇÃO DO USUÁRIO E DO CONSUMIDOR (CONTROLE DE QUALIDADE)

Teste de Graduação em Óculos de Sol

Potência esférica e astigmática (NBR ISO 12311:2018 – Item 8.1.4.2)

As lentes dos óculos de sol não devem apresentar grau (esférico e/ou cilíndrico), pois podem causar desconforto visual, resultando em alguns casos em zonzeira e dor de cabeça. O teste é realizado com o lensômetro que mede os poderes de refração com precisão requerida pelas normas.

Medem-se as potências dos dois meridianos principais (D1 e D2) da lente com filtro dos óculos de sol e verificam-se o poder de refração e o raio de curvatura da lente, que está posicionada na armação dos óculos.

Obtém-se a potência esférica (D1 + D2)/2 e a potência astigmática (lD1 – D2l), sendo que esses valores não podem exceder a tolerância de 0,12 di.

A figura 13 mostra uma foto do lensômetro do CERTIFICA-LIO – EESC–USP.

Figura 13: Foto do Lensômetro no CERTIFICA-LIO: equipamento que mede as potências esférica e astigmática, bem como desvios prismáticos das lentes.

Variações pontuais na potência refrativa (NBR ISO 12311:2018 – Item 8.3)

Os ensaios para detecção de variações pontuais na potência refrativa são realizados segundo a norma citada. Esse teste visa verificar possíveis aberrações em toda superfície

das lentes, as quais distorcem e desfocam, comprometendo a nitidez da imagem.

O filtro é ensaiado num ponto de referência de acordo com a NBR ISO 12311:2018, no qual é obtida uma curva diretamente dependente da potência de refração, com isso é possível verificar as características da lente através do formato e distanciamento das linhas.

A figura 14 ilustra alguns exemplos de curvas de medições para filtros com propriedades de refração diferentes.

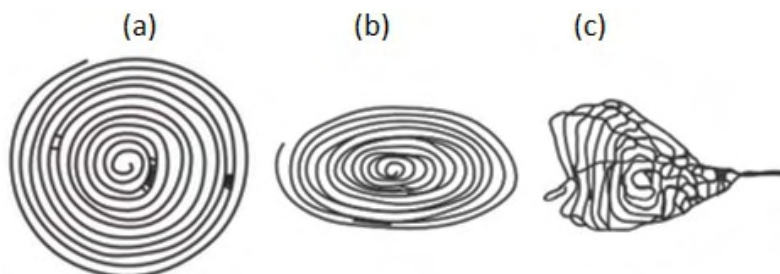



Figura 14: Exemplos de curvas de medições para filtros com propriedades de refração diferentes (adaptada de NBR ISO 12311:2018). Potência de refração: (a) esférica, sem potência refrativa astigmática; (b) com potência astigmática; (c) irregular.

Caso seja observada uma duplicação ou aberração geométrica ou cromática da imagem no teste de potência esférica e astigmática, o filtro deve ser submetido a um novo teste.

O equipamento que realiza este tipo de medidas é responsável por obter a deflexão do feixe de luz que atravessa a amostra, gerando assim as curvas relacionadas com a potência de refração.

Esse equipamento consiste de um modo geral de um laser, com comprimento de onda de 600 nm ± 70 nm, fotossensor, lentes, espelhos de deflexão, guias nas direções X e Y, amplificadores e display para registro [9].

Detalhes Técnicos do Teste: Variações pontuais na potência refrativa

O filtro é colocado sobre o transportador da amostra e o aparelho é inicializado.

Com uma amostra tendo superfícies planas, a direção do feixe de luz emergente é independente da sua posição sobre o filtro, sendo que o raio não é desviado, quando ele passa através do filtro. Na primeira aproximação, a imagem do registrador é, portanto, um ponto. Com um filtro afocal curvado, o ponto pode ser ligeiramente aumentado devido à refração de luz nas suas superfícies. Um filtro com poder de refração uniforme (lente) tem o mesmo comprimento focal em todos os pontos. Portanto, o caminho de escaneamento é reproduzido, tanto reduzido ou

aumentado, dependendo da potência de refração, sem alterar a sua forma. O caminho de escaneamento espiral também é desenhado no registrador como uma espiral com distâncias constantes entre linhas adjacentes.

Filtros com potência de refração astigmática, ou seja, diferentes comprimentos focais em diferentes meridianos, dão origem a uma curva aproximadamente elíptica, uma vez que as dimensões da curva dependem da potência de refração que varia para os diferentes meridianos.

Uma vez que as dimensões da curva dependem da potência de refração, a distância de uma linha para a próxima é diferente para os diferentes meridianos e, por conseguinte, a espiral é distorcida.

Filtros com variações irregulares de distâncias focais produzem um caminho em espiral deformado. Desta espiral distorcida as potências de refração em todos os pontos da superfície do filtro podem ser obtidas por análise.

O aparelho pode ser calibrado usando amostras de potência de refração prismática conhecida ou pelo deslocamento lateral do detector utilizando um micrômetro.

Teste de Prismas em Óculos de Sol

Desbalanceamento prismático (NBR ISO 12311 – Item 8.2)

Os efeitos prismáticos em óculos ocorrem por mal posicionamento das lentes na armação ou alterações de poder de refração.

O usuário pode perceber este efeito, ao deslocar os óculos de um lado para o outro e olhar através das lentes. As imagens se deslocam de forma não usual.

Um deslocamento prismático em uma lente faz com que um objeto a 1 m de distância, quando observado através da lente com:

- 1 dioptria prismática, se desloca de 1 cm;
- 2 dioptrias prismáticas, se desloca de 2 cm; e assim por diante.

Esse efeito gera uma confusão do posicionamento real do objeto.

Os ensaios do desbalanceamento prismático são realizados segundo a norma NBR ISO 12311 – Item 8.2. O teste requisito da norma determina o desequilíbrio prismático, medindo o poder de refração das lentes, com um lensômetro (figura 13).

Medem-se as distâncias horizontal e vertical entre as duas imagens deslocadas resultantes das duas regiões do filtro do protetor ocular, as quais não podem exceder 0,25 di

prismáticas na vertical e 0,25 (*Base In*) e 1,0 (*Base Out*) dioptrias prismáticas na horizontal.

Detalhes Técnicos do Teste: Desbalanceamento prismático

O diafragma é iluminado pela fonte de luz. A posição deste é ajustada de modo que ele produz uma única imagem na tela no plano B, quando o protetor do olho (P) não esteja na posição. O protetor ocular é colocado na frente da lente, na posição "como em uso", na cabeça-padrão de um tamanho apropriado à amostra que está sendo ensaiada e conforme a descrição indicada.

NOTA: Se existir uma razão justificável, por exemplo, projeto para ajuste a uma etnia ou grupo populacional, convém que a avaliação seja realizada em uma cabeça-padrão alternativa projetada para representar a população-alvo específica.

Selecionar o diafragma apropriado. A distância do centro do diafragma à abertura circular esquerda e direita é igual a metade da distância interpupilar. Como valor padrão é usada uma distância interpupilar de (64,0 ± 0,4) mm para óculos para proteção solar de adultos e de (54,0 ± 0,4) mm para óculos para proteção solar de crianças. Podem ser escolhidos outros valores para a distância interpupilar, se solicitado pelo fabricante.

Medir as distâncias horizontal e vertical entre as duas imagens deslocadas resultantes das duas regiões do filtro do protetor ocular.

Estas distâncias em centímetros são divididas por 2 para dar as diferenças prismáticas horizontais e verticais em dioptrias prismáticas (centímetros por metro).

Se os caminhos de luz, que correspondem as regiões dos dois olhos cruzarem na direção horizontal o desequilíbrio prismático é de "base nasal"; se os caminhos de luz não se cruzarem, é de "base tempora".

Teste dos Filtros Polarizadores dos Óculos de Sol

Os filtros devem cortar o ofuscamento da luz, mas precisam ter uma quantidade de luz suficiente passando pelas lentes para não prejudicar a visão do usuário. Isto é denominado de EFICIÊNCIA do filtro e deve ser de pelo menos 4 para 1 para óculos claros e de 8 para 1 para óculos escuros.

A figura 15 ilustra a eficiência dos filtros polarizadores.

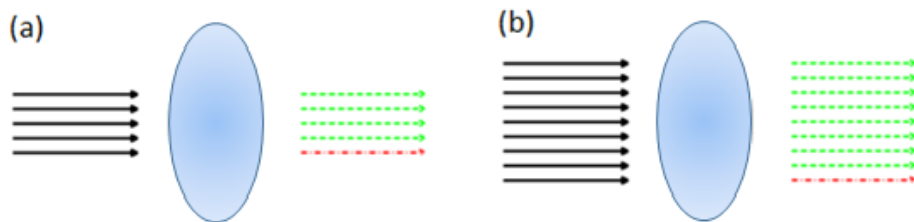



Figura 15: Ilustração da eficiência dos filtros polarizadores (a) 4:1 para filtros de proteção solar de categoria 1 – para cada quatro unidades de luz transmitida através de seu eixo de polarização uma unidade poderá ser transmitida na direção perpendicular, as demais serão transmitidas na vertical; (b) 8:1 para filtros de proteção solar de categorias 2 a 4. – para cada oito unidades de luz transmitida através de seu eixo de polarização, uma unidade poderá ser transmitida na direção perpendicular, as demais na vertical.

Também, para que os polarizadores sejam eficientes, os filtros precisam estar posicionados na vertical, com uma pequena angulação máxima permitida de ±5° na vertical, individualmente, e ambos os filtros não podem apresentar desvio mútuo maior que 6°.

A figura 16 ilustra esse requisito.

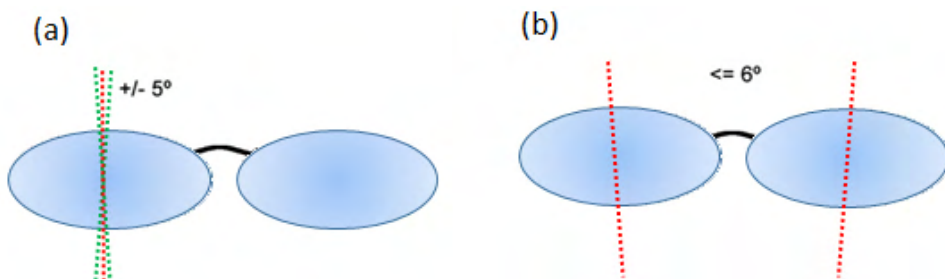



Figura 16: Os eixos dos polarizadores não podem apresentar desvio: (a) maior que ±5° com o eixo vertical; (b) mútuo maior que 6°

A figura 17 mostra a foto do equipamento comercial, que realiza estes testes do CERTIFICA-LIO da EESC–USP. O CERTIFICA-LIO também desenvolveu seu equipamento próprio [22].

Figura 17: Foto do POLARÍMETRO, que realiza os testes em lentes polarizadas, do CERTIFICA-LIO da EESC–USP.

Detalhes Técnicos do Teste dos Filtros Polarizadores

Medir a luz incidente sem a amostra na posição, sem o aprisionador de luz na posição e com o padrão de refletância na posição.

Medir o total de luz transmitida pela amostra com a amostra na posição, sem o aprisionador de luz na posição e com o padrão de refletância na posição.

Medir a luz espalhada pelo instrumento sem a amostra na posição, com o aprisionador de luz na posição, e sem o padrão de refletância na posição.

Medir a luz espalhada pelo instrumento e pela amostra com a amostra na posição, com o aprisionador de luz na posição e sem o padrão de refletância na posição.

Repetir a etapa de modo que quatro leituras sejam obtidas, rotacionando a amostra entre as leituras a 90°.

Testes de Construção dos Óculos

Os testes de construção são uma série de passos tomados para garantir a qualidade da montagem e acabamento das armações de óculos de sol.

Os óculos, como produto, são expostos a erros de *design* e fabricação. Por isso são necessárias medidas para garantir a qualidade do material da superfície e do filtro das

lentes. São avaliados vários aspectos:

- Todas as partes dos óculos que entram em contato com o usuário durante o uso são lisas e sem saliências ou pontas. A avaliação é feita a olho nu, buscando imperfeições e saliências
- Não deve haver pontos de pressão excessiva no usuário do durante o uso. Os pontos de pressão são prevenidos garantindo que as armações sejam construídas com proporções condizentes com a ISO 8624 [23].
- Durante o uso prolongado, os óculos não devem liberar nenhuma substância tóxica no usuário. São examinados os documentos de fabricação, para verificar a presença de substâncias conhecidamente alergênicas, cancerígenas ou tóxicas. Em caso de uso de uma substância que não foi previamente usada para a construção de óculos, testes clínicos são realizados para determinar sua segurança
- As lentes não devem ter nenhum defeito de fabricação, que leve ao prejuízo da visão de sob qualquer aspecto. As imperfeições na lente são testadas usando-se um aparelho conhecido como caixa de luz. É uma montagem que permite o exame da lente contra a luz de uma lâmpada, com uma máscara na lente, que bloqueia a luz para que não passe pela lente para não ofuscar o examinador.

Testes de Resistência Mecânica

Os óculos de sol devem passar em 3 testes de resistência mecânica, conforme descrito na norma NBR ISO 12311:2018 [9], para ser avaliado como seguro.

1. Deformação da Armação e Retenção das Lentes;
2. Resistência a impactos;
3. Robustez mínima.

Deformação da Armação e Retenção das Lentes (NBR ISO 12311:2018; item 9.6)

Avalia-se a resistência mecânica da ponte dos óculos, que é a região entre os dois olhos e que fica logo acima do nariz.

Devido ao hábito de retirar os óculos do rosto apenas com uma mão, por apenas uma das hastes, há a propensão de deformação de certas armações de óculos. O teste analisa se a armação não é excessivamente frágil.

Ensaio de deformação da armação e retenção de lentes

Neste teste, os óculos são presos por uma das lentes, com uma presilha de 25 mm de diâmetro, e na segunda lente, uma haste de 10 mm de diâmetro, com ponta semiesférica, imprime uma força de 5 N (equivalente a aproximadamente 0,51 kg), sobre esta lente livre, deformando a armação (figura 18).

Os óculos solares não devem quebrar em qualquer ponto; ou apresentar qualquer deformação permanente superior a ±2% da distância inicial entre os pontos de referência da armação [1]; ou desprender nenhuma das lentes da armação.

Além da deformação da armação, verifica se a lente foi desalojada durante esse ensaio.

Figura 18: Esquemático do teste de resistência mecânica (crédito da figura de Igor Cordeiro Santa Bárbara).

A figura 19 mostra a foto do equipamento, desenvolvido no CERTIFICA-LIO da EESC–USP [24], que aplica uma força de 5 N, para medição de deformação da armação e retenção de lentes.

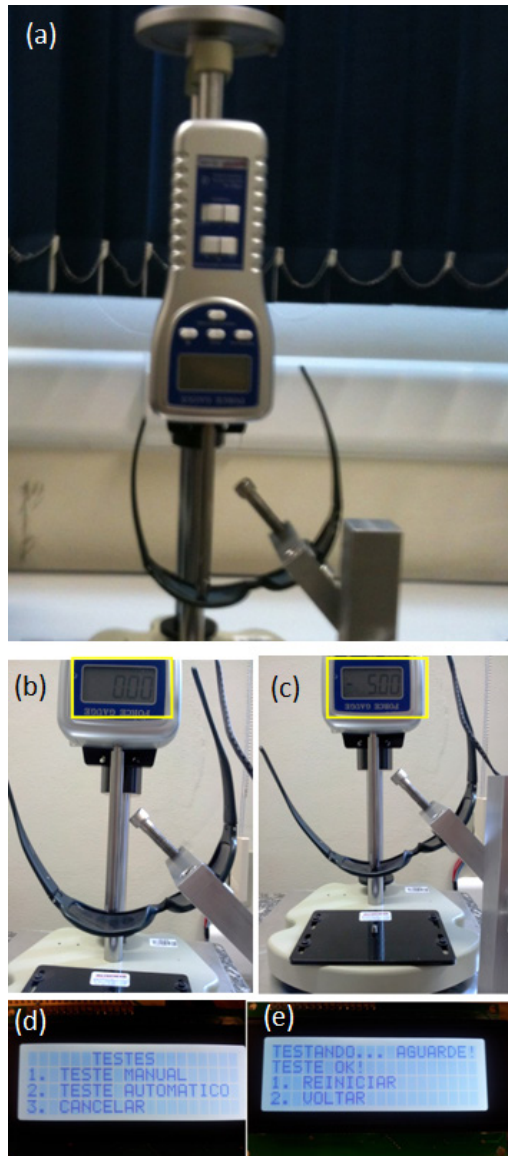



Figura 19: (a) Foto do equipamento de medição de deformação da armação e retenção de lentes. Detalhes: (b) início da medida; (c) final de medida; (d) tela de controle para teste automático ou manual; (e) tela de status. Equipamento desenvolvido no CERTIFICA-LIO da EESC–USP [24].

Detalhes técnicos do teste:

(NBR ISO 12311:2018, item 9.6)

Consiste de uma braçadeira angular de fixação operada verticalmente, capaz de reter a amostra de ensaio sem torção ou deslizamento e com diâmetro de (25 ± 2) mm, com duas superfícies de contato, um pino de pressão com operação descendente com

diâmetro de (10 ± 1) mm, com superfície de contato aproximadamente hemisférica.

A amostra é montada no aparato e é exercida uma força máxima de 5 N ou até que uma distância igual a 10% da distância entre os pontos de referência de deformação seja alcançada.

Resistência a impactos (NBR ISO 12311:2018, itens 9.2 – 9.5)

Esses ensaios devem testar a proteção os olhos do usuário, quando as lentes sofrem impactos.

Existem 3 níveis de teste de impacto

Níveis de força 1, 2 e 3:

- No nível de força 1 uma esfera de aço é solta em queda livre contra a lente – figura 20a.
- No nível de impacto de força 2, utiliza-se uma esfera maior que no nível de força 1 – figura 20b.
- No nível de força 3 uma esfera de aço menor do que a utilizada no nível de força 1 é propelida por ar comprimido à 45 m/s (162 km/h) contra a lente – figura 21. Esse teste foi herdado da norma europeia de testes de capacetes para motociclistas e tenta avaliar a resistência à artefatos como pedriscos, insetos e outros pequenos objetos como certas porcas.

Detalhes Técnicos do Teste – forças níveis 1 e 2 (NBR ISO 12311:2018, itens 9.2 – 9.4)

Impactos na classe 1: uma esfera de 16 g e 16 mm de diâmetro é solta à (1,27 + 0,03) m de altura sobre a lente. Os óculos estão posicionados em uma cabeça de ensaio e é aplicado um material sensível à pressão para registrar o contato entre os óculos e a região das órbitas oculares. A esfera é solta e verificam-se possíveis danos na amostra e se houve contato entre a região ocular e a lente.

Impactos na classe 2: a esfera é substituída por uma de 43 g e 22 mm de diâmetro e o procedimento e avaliações são os mesmos aos da classe 1.

Detalhes Técnicos do Teste – força nível 3 (NBR ISO 12311, item 9.5)

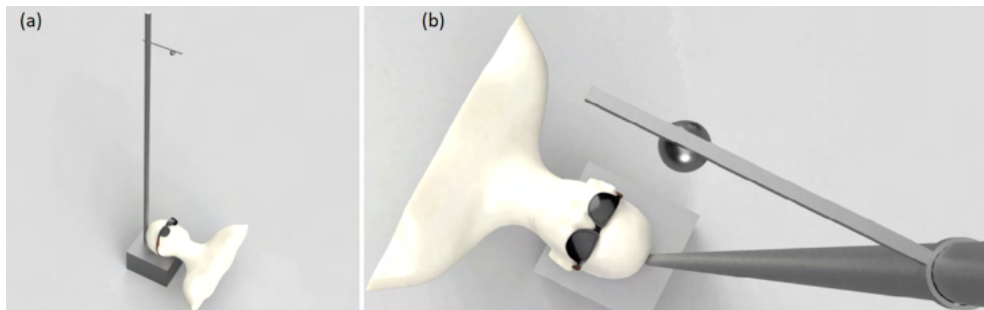
Para o nível de força 3, uma esfera de diâmetro nominal 6 mm e peso de 0,86 g é propelida por gás comprimido tal que no momento do choque com a amostra, a velocidade seja de 45 + 1,5 m/s. É feito o mesmo preparo de registrar o contato entre os olhos e as lentes utilizando um material sensível à pressão entre os óculos e a cabeça de ensaio na região das órbitas oculares.

(c)

Figura 20: Representação dos ensaios níveis de força (a) 1 e (b) 2. (Crédito da figura de Igor Cordeiro Santa Bárbara); (C) QR CODE do vídeo de um teste de resistência ao impacto do CERTIFICA-LIO-EESC-USP (https://youtu.be/7jn9qN9hdCc).

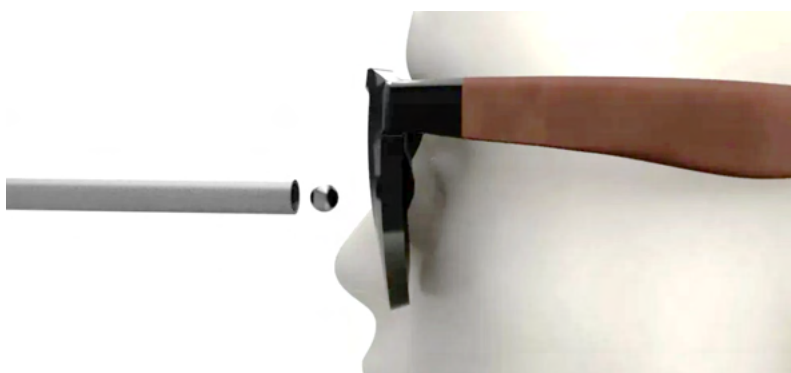



Figura 21: Representação do ensaio nível de força 3. (Crédito da figura de Igor Cordeiro Santa Bárbara).

Robustez mínima

Esse ensaio verifica se as lentes dos óculos resistem, sem fraturar, à situação de uma pessoa ajustando a armação com suas mãos.

Quando isso ocorre, a deformação da estrutura dos óculos pressiona a lente, podendo causar uma fratura na lente.

Neste teste, posiciona-se a lente em um aparato, cuja lente sofrerá uma pressão, que simule a situação mencionada.

A figura 22 traz a representação do ensaio de robustez mínima.

Detalhes Técnicos do Teste – Robustez Mínima (NBR ISO 12311, item 9.1)

Neste teste, aplica-se uma carga estática de (100 ± 2) N sobre a lente testada.

Uma esfera de 22 mm de diâmetro é fixada em uma extremidade de um tubo de 70 mm de comprimento.

A amostra é montada em um aparato, onde uma folha de papel com uma outra de papel carbono são posicionadas para registrar se haverá contato da lente com a superfície que a suporta e a superfície que imprime a força de 100 N sobre a lente. A duração da aplicação desta força é de (10 ± 2) s e, então, analisa-se se houve fratura da lente ou se a folha em branco foi marcada pelo papel carbono.

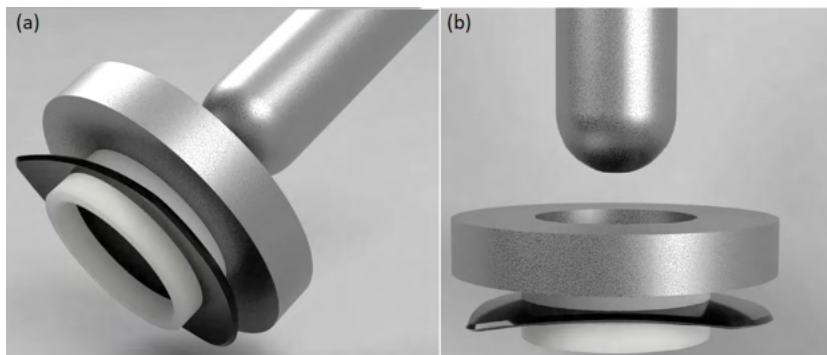



Figura 22: Representação do ensaio de robustez mínima. (Crédito da figura de Igor Cordeiro Santa Bárbara).

Resistência à Ignição

Teste de resistência a ignição (NBR ISO 12311 – ITEM 9.9)

O teste de resistência a ignição verifica se os óculos de sol não pegam fogo facilmente, em situações em que hajam faíscas, como por exemplo, próximo a churrasqueiras, fogueiras, faíscas de brasas em geral, para a proteção facial e ocular do usuário.

O teste consiste de uma haste de aço de 30 cm de comprimento, aquecida a 650 °C, pressiona com seu próprio peso, a superfície a ser testada, ou seja, as lentes ou armação dos óculos de sol, por 5 s. Após cessar o contato é verificado se a parte testada não pegou

fogo ou não continuou a derreter.

Os materiais que costumam compor as lentes dos óculos de sol são geralmente:

- Policarbonato
- Polimetilmetacrilato (PMMA)
- CR-39 (Resina Columbia 39) com filtro polarizador interno
- Poliamida
- Vidro

E as armações são geralmente:

- Poliamida (nylon 12)
- Poliamida (nylon 11 e óleo de mamona)
- Acetato de celulose
- ABS (Acrilonitrila butadieno estireno)
- Policarbonato

A Tabela 2 [25] traz o ponto de fusão e temperaturas de autoignição para material típico de óculos de sol.

Material	Ponto de fusão (°C)	Ponto de autoignição (°C)
Poliamidas (ou Nylons)	172 – 260	424 – 532 [27]
Policarbonatos	140 – 150 [28]	580 [28]
Acetato de celulose	49 – 121 [28]	475 – 540 [28,29]
Acetato de propionato de celulose	188 – 210 [30]	432 [30]
Butirato de acetato de celulose	127 – 240 [30]	–
ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno	88 – 25 [28]	416 [28]
Nitrato de celulose (ou nitrocelulose)	160 [31]	141 [29]
CR-39 (carbonato de alil diglicol)	129 [32]	443 [32]
PMMA – Polimetilmetacrilato (acrílico)	91 – 125 [28]	452 – 460 [29]

Tabela 2: Temperaturas de fusão e autoignição para a maioria dos materiais utilizados na indústria de óculos de sol.

O equipamento para realizar esse teste, foi desenvolvido no CERTIFICA-LIO da EESC–USP – figura 23 (https://youtu.be/GWFKtFews2Q) – e consiste de um forno elétrico, com circuitos elétricos adequados para atingir a temperatura necessária e tempo de exposição adequados [25,26].

(a) (b)

Figura 23: Forno para teste de resistência à ignição desenvolvido no CERTIFICA-LIO da EESC–USP [25,26], (b) QR CODE do vídeo do teste de inflamabilidade no forno desenvolvido no CERTIFICA-LIO-EESC-USP (créditos do vídeo de Renan Magri[26]). https://youtu.be/GWFKtFews2Q.

Detalhes Técnicos do Teste: resistência à ignição

Aquecer pelo menos 50 mm de comprimento de uma extremidade da barra de aço a uma temperatura de (650 ± 20) °C.

NOTA: A temperatura da barra é medida por meio do termopar fixado a uma distância de (20 ± 1) mm da extremidade aquecida da barra. A medição sistemática da temperatura da barra antes de cada contato com a amostra de ensaio não é requerida dado que a curva de arrefecimento (temperatura versus do tempo) da extremidade aquecida da barra é conhecida.

Pressionar a face aquecida da barra (eixo longo vertical) contra a superfície da amostra de ensaio (a força de contato é igual ao peso da barra), por um período não inferior a 5 s, e, após removêla. Registrar durante o ensaio se as amostras se inflamarem ou continuarem a incandescer.

Realizar o ensaio em todas as partes dos óculos para proteção solar expostas externamente, exceto qualquer cinta elástica ou têxtil.

Teste de resistência à radiação solar (NBR ISO 12311 – ITEM 9.8)

O teste de resistência à radiação solar tem o propósito de verificar se os óculos de sol não clareiam as lentes após o uso por determinado tempo no sol, ou seja, se não alteram a categoria das lentes após exposição prolongada ao sol, evitando que o consumidor seja lesado ao comprar lentes escuras e após certo tempo elas ficarem mais claras.

O teste consiste em, inicialmente, medir a transmitância visível das lentes e, a seguir, irradiar as lentes de óculos de sol por uma lâmpada de arco de xenônio livre de ozônio (450 W) usando um filtro de corte (vidro *crown* transparente B270 com 4 mm de espessura) entre a lâmpada e as lentes sob teste, que são colocados a 300 mm de distância da lâmpada. As lentes são submetidas a irradiação solar artificial pelo simulador solar por 50 h ± 0,1 h [(1,9)]. Após a exposição à radiação, a espectrofotometria é novamente realizada para determinar a transmitância dos óculos de sol na região do visível (380 nm – 780 nm) para avaliar se houve alteração de categoria da lente.

Alguns trabalhos recentes na literatura, também avaliam se a proteção ultravioleta das lentes foi alterada, mas esta última não faz parte dos requisitos das normas de óculos de sol [(33)].

É importante também ter o conhecimento de que a irradiância solar padrão para massa de ar 1 (MA1) é 1000 W/m^2, que é expresso como 1 SOL. Esta é a irradiância solar aproximada na superfície da Terra em um plano horizontal ao nível do mar em um dia claro, com o sol no zênite.

É importante notar que quando os óculos de sol são irradiados a 300 mm de distância da lâmpada de arco de xenônio, XBO450-OFR, conforme exigido pelas normas ISO 12312-1: 2018 e suas espelhos, a irradiância solar equivalente é de 0,5 sóis, em outras palavras, a irradiância é semelhante à observada quando óculos de sol são expostos ortogonalmente a 50% da irradiância solar em MA1 [(34)].

Assim, pelos requisitos das normas atuais, as lentes dos óculos de sol são expostas à irradiação por um simulador solar, equivalente a 0,5 sóis, para serem submetidas a um processo de envelhecimento. A transmitância luminosa após o teste não deve ser alterada além dos limites mostrados na tabela 3, para as respectivas categorias das lentes. Além disso, os requisitos originais de transmitância UV devem ser mantidos inalterados. E como mencionado, para estarem conformes, as lentes não devem alterar sua categoria.

Categoria	Mudança relativa na transmitância luminosa $\Delta\tau_v / \tau_v = (\tau_v' - \tau_v) / \tau_v$
0	±3 %
1	±5 %
2	±8 %
3	±10 %
4	±10 %
Obs.: τ_v' é a transmitância após o teste.	

Tabela 3: Mudanças máximas relativas de transmitâncias luminosas após o teste.

O equipamento de teste utilizado por técnicos treinados é um simulador solar. A foto do simulador solar do CERTIFICA-LIO da EESC–USP está mostrada na figura 24.

(a)

(b)

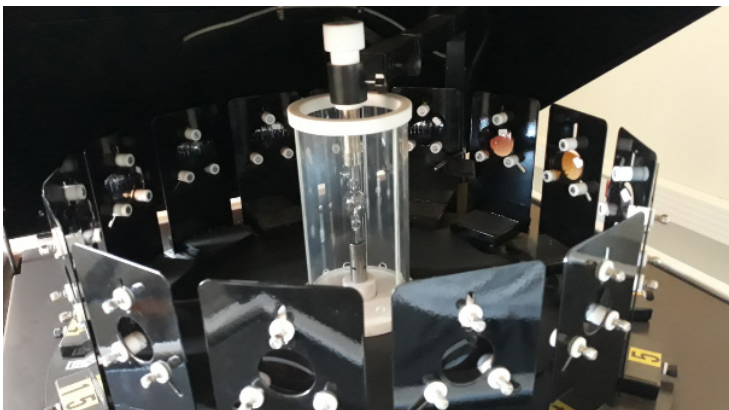



Figura 24: (a) Foto do simulador solar do CERTIFICA-LIO da EESC–USP; (b) Detalhe do compartimento das lentes a serem irradiadas.

Várias pesquisas estão sendo realizadas no CERTIFICA-LIO nos últimos anos e questionamentos sobre os testes das normas de óculos de sol também são frequentemente

realizados.

Vale a pena mencionar novamente aqui que a irradiância de 1000 W/m^2 define 1 sol padrão. O equipamento descrito na norma, e mais especificamente, o qual temos no CERTIFICA-LIO-EESC do campus da USP de São Carlos, emite 460 W/m^2, ou seja, emite 46% do sol padrão [33,34] .

Nosso grupo vem exaustivamente investigando as implicações do teste de resistência à radiação em simulador solar na forma requerida pela norma. Testes de até 2500 h de exposição no simulador demonstrou que 50 h de exposição é inócuo para os fins a que se destina o teste [33,34] .

Portanto, ainda se questiona a importância desse teste em expor as lentes por 50 horas.

Detalhes Técnicos do Teste: resistência à radiação solar

Medir a transmitância luminosa τv de acordo com 7.1.2 (e outras transmitâncias a serem verificadas conforme descrito em 7.2 a 7.8 e a amplitude do ângulo de espalhamento de acordo com 7.9.

Expor a superfície frontal do filtro à radiação proveniente da lâmpada.

Assegurar que o ângulo de incidência da radiação na superfície da amostra é essencialmente perpendicular.

A distância do eixo da lâmpada até o ponto mais próximo da amostra é de (300 ± 10) mm.

NOTA: Considera-se que a irradiação necessária será alcançada, sem calibração ou outra verificação, desde que o aparelho e os métodos especificados sejam aplicados. Uma variação da irradiação de até 30% pode ser observada entre várias lâmpadas, de acordo com a idade de lâmpadas ou do fornecedor.

Medir a transmitância luminosa τv de acordo com 7.1.2 (e outras transmitâncias a serem verificadas conforme descrito de 7.2 a 7.8) e da amplitude do ângulo de espalhamento de acordo com 7.9, após a exposição.

Teste de Resistência Aumentada (NBR ISO 12311:2018 item 9.7)

O teste de resistência aumentada em armações de óculos de sol objetiva garantir a durabilidade da armação pelo ato de colocação e de retirada dos óculos do rosto pelo usuário. O teste consiste em prender uma das hastes e rotacionar a outra.

A extremidade de uma haste é fixada para restringir o movimento lateral, mas não o movimento de rotação, enquanto que a extremidade da outra haste é rotacionada através de um círculo de 60 mm de diâmetro. A ponte é apoiada livremente sobre um simulador de nariz, para se ter as condições mais próximas do rosto humano.

Ao serem submetidos aos testes, os óculos não podem: fraturar em qualquer ponto, apresentar rachaduras ou apresentar deformações permanentes, ou seja, a distância original entre as hastes no ponto de medição não pode ser alterada por mais de 5 mm após 500 ciclos a 40 rotações por minuto, garantindo assim que estes óculos mantenham as suas características a longo prazo.

Para que sejam conformes, as armações não podem quebrar e/ou o aumento da distância entre as hastes antes do teste e pós o teste não podem exceder 5 mm, em pontos preestabelecidos pela norma.

A Figura 25 ilustra o protótipo sugerido pelas normas NBR ISO 12311:2018 e ISO 12870:2004. É descrito um sistema mecânico, de apoio sobre um simulador de nariz e fixação de uma das hastes dos óculos – simulação do lado que fica preso atrás da orelha, e um sistema de rotação eletrônico para a outra haste (simulação do lado que será retirado do rosto), para a realização deste teste, que se denomina ensaio de resistência aumentada em armações de óculos de sol.

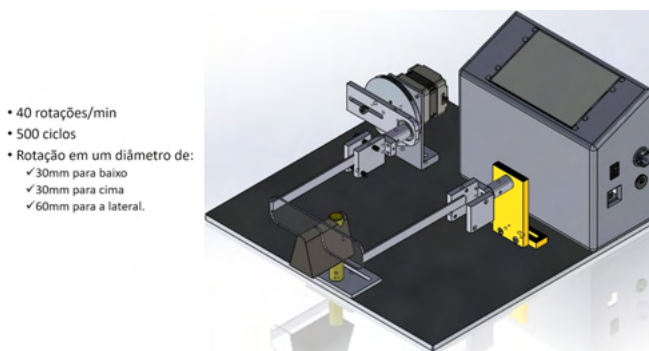



Figura 25: Esquemático para o ensaio de resistência aumentada em óculos de sol (desenho por Lariss Vieira Musetti). Um destes equipamentos foi construído no CERTIFICA-LIO e patenteado [34,35].

A figura 26 refere-se ao protótipo desenvolvido no CERTIFCA-LIO-EESC-USP de medidas de resistência aumentada em óculos de sol.

(a)

(b)

Figura 26: Protótipo desenvolvido no CERTIFCA-LIO-EESC-USP de medidas de resistência aumentada em óculos de sol. (a) foto; (b) QR CODE do vídeo de um ensaio sendo realizado. Créditos do vídeo de Larissa Vieira Musetti. https://youtu.be/7FCM_NFxVAw.

Assim, esses são alguns dos testes requisitos das normas de óculos de sol, que oferecem certo conhecimento mais específico para entende-los e realiza-los. Os demais, tais como verificar riscos nas lentes, verificar trincas, etc, são testes que não requerem tanto conhecimento para se descrever aqui. Os aqui descritos necessitam de pessoas mais especializadas para realiza-los, e alguns, como a espectroscopia em lentes, não só requer profissionais bem treinados e de área bem específicas, como também, necessita que possam ser corretamente interpretados, e neste caso, além de serem profissionais tais como Físicos, Químicos eu Engenheiros, esses devem ter o conhecimento profundo das normas para óculos de sol.

REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR ISO12312-1:2018 Proteção dos olhos e do rosto – Óculos para proteção solar e óculos relacionados Parte 1: Óculos para proteção solar para uso geral, 2018.

2. ISO12312-1:2018 Eye and face protection. Sunglasses and related eyewear Sunglasses for general use, 2018.

3. Hecht, E., Zajac, A. (1987). Optics. Reading, Mass, Addison-Wesley Pub. Co.

4. Sliney, D. Photoprotection of the eye - UV radiation and sunglasses J Photochem Photobiol B 2001 Nov 15;64(2-3):166-75.

5. Dain, S., Hoskin, AK Ultraviolet protection in spectacle and sunglass lenses: claims vs performance Clin Exp Optom 1993; 76.4: 136-140.

6. Dain, S. et al. Sunglasses, the European directive and the European standard Ophthal. Physiol. Opt. 2010 30: 253–256.

7. European standardAS 1067.1:2016 Australian Standard: Eye and face protection – Sunglasses and fashion spectacles Requirements, AS 1067.1:2016 Amd 1:2021.

8. ABNT NBR ISO 12311:2018 Proteção dos olhos e do rosto — Métodos de ensaio para óculos para proteção solar e óculos relacionados, 2018.

9. Masili M, Schiabel H, Ventura L. Contribution to the radiation protection for sunglasses standards. Radiat Prot Dosimetry. 2015;164(3):435–43.

10. Loureiro, A. D. Estudo da Proteção da Luz Azul em Óculos de Sol e Protótipo para Teste. 76 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2021.

11. Narimatsu T, Negishi K, Miyake S, Hirasawa M, Osada H, Kurihara T et al. Blue light-induced inflammatory marker expression in the retinal pigment epithelium-choroid of mice and the protective effect of a yellow intraocular lens material in vivo. Exp Eye Res. 2015; 132:48–51.

12. Nakamura M, Yako T, Kuse Y, Inoue Y, Nishinaka A, Nakamura S et al. Exposure to excessive blue LED light damages retinal pigment epithelium and photoreceptors of pigmented mice. Exp Eye Res. 2018; 177:1–11.

13. Ueda T, Nakanishi-Ueda T, Yasuhara H, Koide R, Dawson WW. Eye damage control by reduced blue illumination. Exp Eye Res. 2009; 89(6):863–868.

14. Tomany, S. C.; Cruickshanks, K. J.; Ronald, K.; Klein, B. E. K. & Knudtson, M. D. Sunlight and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy: The Beaver Dam Eye Study. Archives of Ophthalmology, American Medical Association, 2004, 122, 750–7

15. Shang, Y.-M.; Wang, G.-S.; Sliney, D.; Yang, C.-H. & Lee, L.-L. White Light–Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model. Environmental Health Perspectives, Environmental Health Information Service, 2014, 122, 269–276

16. Liu, X.; Zhou, Q.; Lin, H.; Wu, J.; Wu, Z.; Qu, S. & Bi, Y. The Protective Effects of Blue Light-Blocking Films with Different Shielding Rates: A Rat Model Study. Translational Vision Science & Technology, 2019, 8, 19.

17. Vicente-Tejedor, J.; Marchena, M.; Ramírez, L.; García-Ayuso, D.; Gómez-Vicente, V.; Sánchez-Ramos, C.; de la Villa, P. & Germain, F. Removal of the blue component of light significantly decreases retinal damage after high intensity exposure. PLOS ONE, Public Library of Science, 2018, 13, 1–18.

18. Li H., Zhang M., Wang D., Dong G., Chen Z., Li S., Sun X., Zeng M., Liao H., Chen H., Xiao S.,

Li X., “Blue Light from Cell Phones Can Cause Chronic Retinal Light Injury: The Evidence from a Clinical Observational Study and a SD Rat Model”, BioMed Research International, vol. 2021, Article ID 3236892, 13 pages, 2021.

19. Loureiro, A. D.; Dispositivo para Medição e Teste de Transmitância Luminosa e Semafórica em Óculos de Sol de Acordo com a Norma Brasileira – ABNT NBR ISO 12312-1:2015, dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, na Universidade de São Paulo – 2017.

20. ISO 4007:2018 Personal protective equipment — Eye and face protection — Vocabulary.

21. Lopes, L.E. Desenvolvimento de um protótipo para medição de filtros polarizadores de óculos de sol de acordo com a NBR15111, Dissertação de Mestrado- EESC-USP, orientadora: Profa. Dra. Liliane Ventura - 2014, https://doi.org/10.11606/D.18.2014.tde-20082014-104158

22. ISO 8624:2020 Ophthalmic optics — Spectacle frames — Measuring system and terminology.

23. Rodrigo Cintra Chaves; Sistema automático para teste de deformação em armações de óculos solares de acordo com a norma NBR 15111:2004. Trabalho de Conclusão de Curso no Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP 2013.

24. Magri, R.; Masili, M.; Duarte F.; Ventura L. Building a Resistance to Ignition Testing Device for Sunglasses and Analysing Data: a Continuing Study for Sunglasses Standards. BioMedical Engineering OnLine. 2017;16(1). Doi: 10.1186/s12938-017-0404-1.

25. Magri, R.; Desenvolvimento de um protótipo para realização do ensaio de inflamabilidade em óculos de sol / Renan Magri; orientadora Liliane Ventura. São Carlos, 2015.

26. Emil Braun, Barbara C. Levin.Nylons: A Review of the Literature on Products of Combustion and Toxicity, Fire And Materials; 1987; 11: 71–88.

27. Cardoulis JN. The art and science of fire investigation. Canada: Breakwater Books, Limited; 1990.

28. Hilado CJ. Flammability Handbook for Plastics. 5rd ed. Pennsylvania:TechnomicPublishiung Company; 1998. CRC Press.

29. Steve Lampman. Characterization and Failure Analysis of Plastics. 1st ed. USA: ASM International; 2003.

30. Colborne R.S. Melting points of cellulose nitrates. Journal of Applied Polymer Science. 1968; DOI: 10.1002/app.1968.070120414.

31. Haynes W.M. Handbook of Chemistry and Physics. 91st ed. Boca Raton, FL: CRC Press Inc., 2010–2011, p. 3–12.

32. Masili, M.; Duarte, F. O.; White, C. C.; Ventura, L.; Degradation of sunglasses filters after long-term irradiation within solar simulator. Eng. Fail. Anal. 103, 505–516, 2019.

33. Masili, M.; Ventura, L.: Equivalence between solar irradiance and solar simulators in aging tests of sunglasses. Biomedical Engineering Online (Online), v.15, p.86–98, 2016. DOI 10.1186/s12938-016-0209-7

34. Musetti, L.V Dissertação de Mestrado- EESC-USP, orientadora: Profa. Dra. Liliane Ventura - Ensaio de resistência aumentada para armações de óculos: protótipo e análises de amostras, 2020, https://doi.org/10.11606/D.18.2020.tde-15122020-112833

35. Musetti, L.V.; Ventura, L. - Sistema Para Testes De Resistência Aumentada em Armações de Óculos, 2021 - BR102021013853-0

CAPÍTULO 9

MEDIDOR SEMAFÓRICO: UM PROTÓTIPO PARA O PÚBLICO

Artur Duarte Loureiro

INTRODUÇÃO

Como comentado no capítulo anterior, medidas de transmitância para as cores do semáforo são importantes para se saber se óculos de sol estão apropriados para o trânsito.

Como as medidas são feitas por espectroscopia, por profissionais especializados, foi desenvolvido um protótipo, para o público leigo testar seus próprios óculos, para que o usuário possa ter uma noção se seus óculos estão apropriados para a direção. Este protótipo não certifica os óculos, mas dá uma boa noção ao usuário sobre esta propriedade.

Vários equipamentos para uso de leigos vêm sendo desenvolvidos no Laboratório de Instrumentação Oftálmica e no CERTIFICA-LIO da USP de São Carlos, para que os usuários possam testar seus óculos e ter uma noção do produto adquirido.

O equipamento para testes semafóricos, indicando se os óculos são apropriados para direção de veículos terrestres, é um desses e foi noticiado por redes televisivas e imprensa escrita e digital nacionais. Dois exemplos destas reportagens estão apresentados nos códigos QR da Figura 1 e da Figura 2.

O código QR da Figura 1 redireciona para o vídeo de uma entrevista feita pela Rede Globo, que foi ao ar em 02/08/2018 no programa Bem Estar, do protótipo [1-3] sendo testado pelo público nas ruas da cidade de São Carlos (SP).

Figura 1: Entrevista sobre o protótipo para testes semafóricos feita pela Rede Globo de televisão que foi ao ar no dia 02 de agosto de 2018 no programa Bem Estar.

Fonte: https://globoplay.globo.com/v/6916256/.

O código QR da Figura 2 redireciona para uma reportagem do Jornal da USP, de 10/04/2018, que apresenta um vídeo explicativo do protótipo [(1-3)].

Figura 2: Vídeo explicativo do protótipo usado pela reportagem sobre o protótipo para testes semafóricos feita pelo Jornal da USP publicada no dia 10 de abril de 2018.

Fonte: https://jornal.usp.br/tecnologia/aparelho-inedito-mostra-se-oculos-de-sol-podem-ser-usados-para-dirigir/.

Como já comentado sobre as categorias de óculos de sol, em termos de transmitância da luz visível, vale a pena saber em termos menos técnicos que, óculos de sol de categoria

0 são recomendados para situações em que haja muito poucos raios solares, sem Sol aparente, por oferecer atenuação luminosa muito baixa. A categoria 1 é para situações com poucos raios solares, Sol parcialmente aparente, por oferecer baixa atenuação luminosa. A categoria 2 é para uso geral, oferecendo boa redução dos raios solares. A categoria 3 é para situações de alta incidência de raios solares. Já a categoria 4 é para situações de incidência muito alta de raios solares, como mares, campos de neve, altas montanhas e desertos [4]. Vale destacar que óculos de sol com transmitância da luz visível solar τ_v inferior a 3% não são classificados em nenhuma categoria da norma, eles são muito escuros para atividades cotidianas.

Lentes muito escuras que impeçam o reconhecimento de objetos e de luzes de sinais semafóricos (vermelho, amarelo, verde e azul) rapidamente a uma distância segura são impróprias para uso durante a direção de veículos, pois podem levar a perigosas más interpretações [5].

Além disso, lentes, não necessariamente muito escuras, que atenuem uma luz de sinal semafórico excessivamente, ou muito mais do que outra, podem levar a equívocos quanto ao reconhecimento da sinalização de semáforos e também são inadequadas para uso durante direção de veículos [6].

Durante crepúsculo ou à noite, apenas lentes bem claras não prejudicam a condução de veículos [4].

O DISPOSITIVO PARA TESTES DE TRANSMITÂNCIA DE LUZES DO SEMÁFORO

Para testar e certificar óculos de sol quanto a adequação para condução de veículos, segundo a norma brasileira, são necessários um espectrofotômetro, um profissional especializado para operá-lo e um profissional com conhecimentos das normas de óculos de sol para calcular os valores de transmitância da luz visível solar e das luzes semafóricas (vermelha, amarela, verde e azul) e para verificar se estes valores estão dentro dos requisitos. Desta forma, os testes de adequação para condução de veículos só podem ser realizados dentro de laboratórios especializados e o público, em geral, não tem meios de conferir, ou mesmo de saber, se seus próprios óculos de sol são adequados à direção de veículos.

Para permitir que qualquer pessoa teste seus próprios óculos de sol, sem a necessidade de equipamentos científicos ou conhecimentos específicos, foi desenvolvido um dispositivo portátil que realiza as medidas e os testes bastando inserir os óculos e apertar um botão [1-3].

De um modo simples, a Figura 3 ilustra um diagrama esquemático do princípio de medição do protótipo desenvolvido e patenteado [3].

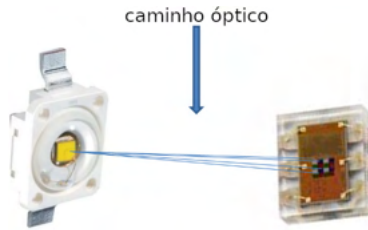



Figura 3: Diagrama esquemático do princípio de medição do protótipo desenvolvido [3]: a luz do LED branco, à esquerda, ilumina a lente a ser testada, que deve ser colocada no caminho óptico, e atinge um sensor de 4 canais, à direita.

Para a realização do teste de transmitância das luzes do semáforo, uma fonte de luz branca (LED branco) acende e ilumina um sensor de 4 canais. Cada um destes 4 canais recebe a luz branca e registra um valor de contagem de 0 a 65.534 (16 bits), correspondente à intensidade da luz ponderada, pela emissão espectral da fonte luminosa e da resposta espectral de cada canal do sensor. Estes valores são armazenados e então, os óculos são colocados e novas medições são realizadas. Quando a lente é colocada no caminho óptico da Figura 3, o sinal é atenuado e novos valores são registrados. A razão entre estes novos valores e os antigos para cada canal fornece 4 medidas de transmitância, com as ponderações definidas pelos componentes usados. Estas 4 ponderações são conhecidas, porque tanto a emissão da fonte luminosa quanto as respostas do sensor foram previamente registradas. Combinações lineares dessas 4 medidas de transmitância permitem que se obtenham valores aproximados de transmitância com as ponderações da norma para a transmitância visível e das luzes do semáforo. Após o cálculo das transmitâncias da norma, os fatores Q (comentados no capítulo anterior) são calculados e a adequação para a condução de veículos é testada [3].

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo funciona pela interação do usuário.

1. O usuário é convidado a medir seus óculos de sol;

2. O usuário aperta um botão numa tela sensível a toque, e o dispositivo faz uma calibração inicial (registra a medida da resposta do sensor, sem a lente dos óculos de sol no caminho óptico da Figura 3);

3. Então, o usuário insere seus óculos de sol no protótipo e seleciona o botão, num tela digital para testar os óculos;

4. O dispositivo realiza 4 medições simultaneamente, seu sensor de 4 canais se comporta como se fossem 4 sensores diferentes. São feitas combinações lineares

com os valores das 4 medidas obtidas, a fim de obter valores aproximados de transmitância da luz visível e das luzes semafóricas. Os valores obtidos são comparados com os limites da norma e o resultado é exibido para o usuário, conforme Figura 4.

Figura 4: Exemplos de tela de resultados. À esquerda, óculos de sol aprovados para direção e, à direita, óculos de sol reprovados para direção.

Este protótipo é simples para o público poder utilizar. Atualmente encontra-se no campus da USP de São Carlos.

REFERÊNCIAS

1. Loureiro, A. D. Dispositivo para Medição e Teste de Transmitância Luminosa e Semafórica em Óculos de Sol de Acordo com a Norma Brasileira. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

2. Loureiro, A. D., Ventura, L. Are sunglasses appropriate for driving? Investigation and prototype for public testing. BioMed Eng OnLine 20, 43 (2021).

3. Loureiro, A. D.; Ventura, L. Método e Sistema de Medição de Características de Transmitância de Objetos Translúcidos. Depositante: Universidade de São Paulo - USP. BR 102018067972-4 A2. Depósito: 05 set. 2018. Publicação Nacional: 17 mar. 2020.

4. ABNT. ABNT NBR ISO 12312-1:2018 - Proteção dos olhos e do rosto - Óculos para proteção solar e óculos relacionados Parte 1: Óculos para proteção solar para uso geral. 2018.

5. Dain, SJ. Sunglasses and sunglass standards. Clin Exp Optom 86(2):77-90; 2003.

6. Hovis, J. K. When yellow lights look red: tinted sunglasses on the railroads. Optometry & Vision Science, 2011. LWW, v. 88, n. 2, p. 327–333, 2011. Disponível em: < http://journals.lww.com/optvissci/Fulltext/2011/02000-/When Yellow Lights Look Red Tinted Sunglasses on.21.aspx > .

SOBRE OS AUTORES

LILIANE VENTURA - Nasceu em 1967 em Campinas – SP. É Professora Associada A3 do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. É coordenadora chefe dos Laboratórios de Instrumentação Oftálmica e do Laboratório de Certificação CERTIFICA -LIO, possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (IFQSC - 1987), mestrado em Física do Estado Sólido pela Universidade de São Paulo (IFQSC - 1990), doutorado em Física Aplicada à Oftalmologia pela Universidade de São Paulo (IFSC -1995), pós doutorado em Oftalmologia (FMRP/USP - 1996), pós-doutorado em Engenharia Elétrica (EESC/USP - 2001) e Livre-Docência em Engenharia Elétrica (2007), pela EESC-USP. Atualmente é Professora Associada do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Biomédica, com ênfase em Instrumentação Oftalmológica; é consultora do comitê de normas CB49 da ABNT e do INMETRO para assuntos relacionados a óculos de sol. As pesquisas atuais estão voltadas para análises de conformidade de óculos de sol e para estudos dos parâmetros destas análises para nacionalização da norma brasileira de proteção a óculos solares. Elaboradora e Coordenadora técnica do convênio EESC-USP - ARC-IBM de San Jose (CA) - EUA. Pesquisadora DTII do CNPq http://lattes.cnpq.br/2841640538748680

MAURO MASILI - Possui graduação em Física (Bacharelado) [S.Carlos] pela Universidade de São Paulo (1990), mestrado em Física [S.Carlos] pela Universidade de São Paulo (1993) e doutorado em Física [S.Carlos] pela Universidade de São Paulo (1997). Possui pós-Doc pela Universidade de São Paulo (1998 e 2014) e pela University of Nebraska-Lincoln (2000). Graduou-se posteriormente em Engenharia Elétrica (2015). Atualmente faz doutorado-direto em Engenharia Elétrica (desde 2020). O Prof. Mauro atua ativamente nos Laboratório de Instrumentação Oftálmica e CERTIFICA-LIO, desde 2011 e participou das reuniões de comitê sobre normas para óculos de sol, CB49 da ABNT. http://lattes.cnpq.br/9767418176302902

SIDNEY JULIO DE FARIA E SOUSA - Nasceu em 1948, em Jundiaí (SP) e é Médico Oftalmologista, graduado pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP) em 1972. Realizou Doutorado em Oftalmologia (1980) e Livre Docência (1988) pela USP. Especialista em Oculomotricidade pela Smith-Kettlewell Institute of Vision Sciences, San Francisco, CA, EUA (1983-1984) e Especialista em Córnea pela Indiana University, IN, EUA (1988-1989). Criador do Banco de Olhos do HC da FMRP-USP, onde exerceu por vários anos o cargo de Diretor Clínico. Criador do Setor de Cristalino, Setor de Visão Subnormal, Setor de Lentes de Contato, Setor de Córnea e Doenças Oculares Externas da FMRP-USP e Laboratório de Óptica Oftalmológica. Atualmente exerce o cargo de Coordenador de Área de Córnea e Doenças Oculares Externas e Coordenador da Residência Médica em Transplantes de Córnea. Em fevereiro de 2020 recebeu o Título de Cidadão Ribeirãopretano pelos relevantes serviços prestados pelo Banco de Olhos nos últimos 30 anos. É Professor Associado da Universidade de São Paulo desde 1980. Tem experiência na área de Oftalmologia, com ênfase nas especialidades de Córnea e Doenças Oculares

Externas, Transplantes de Córnea, Banco de Olhos, Óptica Fisiológica, Instrumentação Óptica Oftalmológica. Participou do comitê de normas CB49 da ABNT e dos ensaios para o INMETRO em 1996. http://lattes.cnpq.br/5383266787411605

HOMERO SCHIABEL - Nasceu em São Carlos – SP, em 1963 e possui graduação em Engenharia Elétrica - São Carlos pela Universidade de São Paulo (1986), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1988) e doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (1992).). O Prof. Homero colabora Laboratório de Instrumentação Oftálmica e CERTIFICA-LIO, desde 2004 earticipou das reuniões de comitê sobre normas para óculos de sol, CB49 da ABNT. Atualmente é professor associado (livre-docente) da Escola de Engenharia de São Carlos, da USP. Tem experiência na área de Engenharia Biomédica, com ênfase em Imagens Médicas, atuando principalmente nos seguintes temas: processamento de imagens mamográficas, mamografia, *computer-aided diagnosis*, digitalização de imagens médicas e controle de qualidade em radiodiagnóstico. Foi coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica da EESC/USP (2004-2006), coordenador do curso de graduação em Engenharia Elétrica da EESC/USP (2009-2015) e Vice-diretor do Centro de Informática de São Carlos, da USP (2006-2013). http://lattes.cnpq.br/3470235800622848

ARTUR DUARTE LOUREIRO - Nasceu em 1990 na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela Universidade de São Paulo (EESC/USP - 2014), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (EESC/USP - 2018) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (EESC/USP - 2021). Desenvolveu protótipos para medidas de óculos de sol para o público, no Laboratório de Instrumentação Oftálmica de 2015 - 2021. http://lattes.cnpq.br/2347295189085456

FERNANDA OLIVEIRA DUARTE - Nascida em São Carlos-SP no ano de 1974; Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (1997); Mestrado (2001) e Doutorado (2008) em Ciências Fisiológicas pela Universidade Federal de São Carlos; Pós Doutora pelo Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular - Departamento de Fisiologia/ UFSCar/DCF (2012); Pós doutora pelo Laboratório de Recursos Terapêuticos - Departamento de Fisioterapia- UFSCar/DCF (2015); Pós doutora pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP– Laboratório de Instrumentação Oftálmica - Departamento de Engenharia Elétrica (2021); Docente pelo Centro Universitário Paulista – Porto Ferreira (2021). Atualmente atua como apoio técnico no laboratório de Inflamação e Doenças Infecciosas (LIDI) - Departamento de Morfologia e Patologia (DMP) – UFSCar/DCF. http://lattes.cnpq.br/3891409288024763

JOSÉ DE ANCHIETA DA COSTA AGUIAR TOSCHI - Nascido em São Paulo – SP, em 1954; Bacharel em Engenharia Industrial Modalidade Química (1977) pela EEM da Universidade Presbiteriana Mackenzie; Extensão em Processos Químicos Unitários (1978) pelo Instituto Mauá de Tecnologia; Responsável pelo Setor de Galvanoplastia (desde 1975) da empresa

Italvista Ind. e Com. de Óculos; Integrante do ABNT/CB-005 – Automotivo (desde de 1982); Integrante do ABNT/CB-049 – Óptica e Instrumentos Ópticos (desde 2002); Superintendente do ABNT/CB-049 (2003 – 2004); Integrante do ABNT/CB-032 – Equipamentos de Proteção Individual (desde 2019); Atualmente Sócio-Diretor da Suntech Supplies Ind. e Com. de Produtos Óticos (desde 2000) e responsável pela Certificação de Conformidade de produtos dessa mesma empresa. http://lattes.cnpq.br/0258092153233836

PATRÍCIA FICHTNER MILAN RÖDEL - Nascida em 1971 em Porto Alegre – RS; Licenciada em Ciências Biológicas (1991) – PUCRS, Especialização em Zoologia Sistemática (1993) – PUCRS, Mestrado em Biociências (1997) – PUCRS, Técnica Óptica (2012) SEG. Atualmente livre-docente do Curso Técnico em Óptica da Escola Cecília Meirelles do Sistema de Ensino Gaúcho – SEG – Responsável Técnica da Óptica Nobre Causa – Porto Alegre-RS e Diretora do Departamento Técnico do Sindicato das Ópticas do Rio Grande do Sul – SINDIOPTICA-RS. Participa do Comitê CB49 da ABNT para normas para óculos de sol*. http://lattes.cnpq.br/2252559424671280*

BIOENGENHARIA OCULAR

os óculos de sol e suas normas

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2022

BIOENGENHARIA OCULAR
os óculos de sol e suas normas

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2022